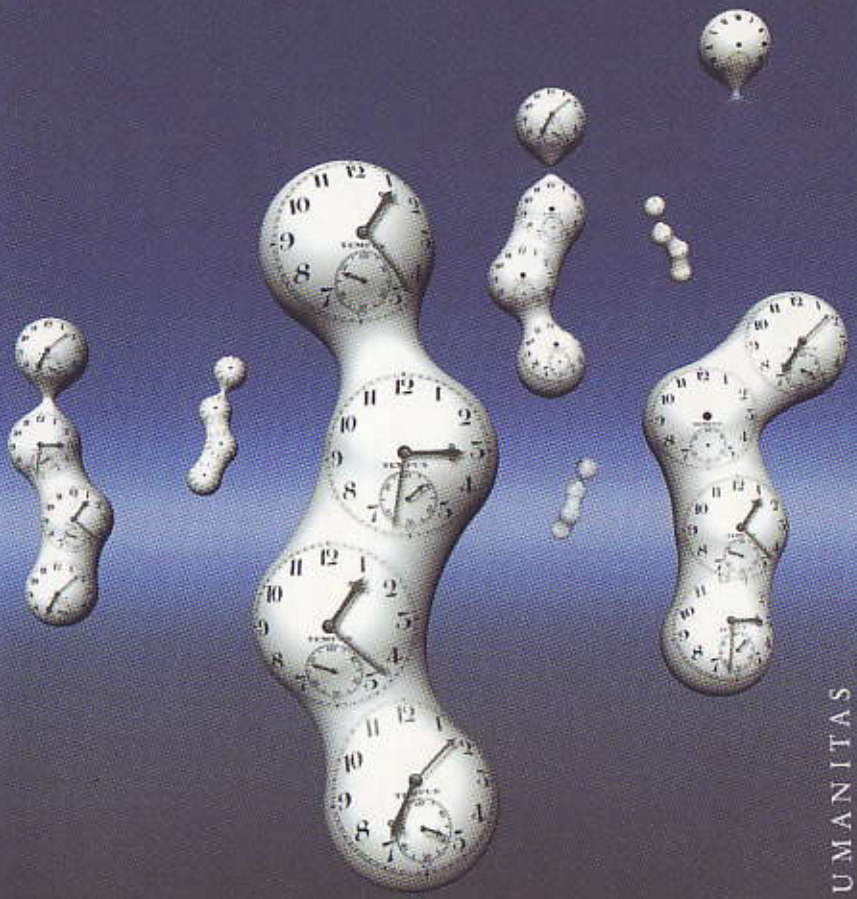
STEPHEN HAWKING
LEONARD MLODINOW

O MAI SCURTĂ ISTORIE A TIMPULUI



HUMANITAS

STEPHEN W. HAWKING s-a născut pe 8 ianuarie 1942, exact în ziua când se împlineau trei sute de ani de la moartea lui Galileo Galilei. După studii la Oxford și un doctorat susținut la Cambridge, Hawking devine titularul catedrei de matematică de la Cambridge, catedră în fruntea căreia s-a aflat, cu trei secole în urmă, Isaac Newton.
Împreună cu Roger Penrose a elaborat teoria asupra găurilor negre și a demonstrat că, în conformitate cu relativitatea generală, spațiul și timpul trebuie să fi avut un început în marea explozie (big bang). În ciuda unei boli care l-a ținuit în căruciorul cu rotile, Hawking și-a continuat cercetările, aflându-se în prima linie a fizicienilor care caută o teorie unificatoare ce ar explica întregul univers. Pe de altă parte, a publicat lucrări destinate publicului larg (*Scurtă istorie a timpului*, *Visul lui Einstein*, *Universul într-o coajă de nucă*), în care a oferit o imagine intuitivă asupra cercetărilor de vârf din fizica fundamentală. Este, probabil, cel mai cunoscut fizician de la Einstein încoace.

LEONARD MLODINOW s-a născut la Chicago în 1957. A studiat la Universitatea Berkeley și la Caltech. În afara activității sale științifice, a fost scenarist pentru serialul de televiziune *Star Trek: The Next Generation* și coautor al unei serii de cărți pentru copii, *The Kids of Einstein Elementary*.

STEPHEN W. HAWKING

LEONARD MLODINOW

O MAI SCURTĂ ISTORIE A TIMPULUI

Traducere din engleză și postfață
GHEORGHE STRATAN

HUMANITAS
BUCUREȘTI

Coperta
IOANA DRAGOMIRESCU MARDARE

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
HAWKING, STEPHEN W.
O mai scurtă istorie a timpului / Stephen Hawking, Leonard Mlodinow; trad., postf.: Gheorghe Stratan. – Bucureşti: Humanitas, 2007

ISBN 978-973-50-1635-7

I. Mlodinow, Leonard
II. Stratan, Gheorghe (trad.; postf.)
524.8

STEPHEN HAWKING, LEONARD MLODINOW
A BRIEFER HISTORY OF TIME
Copyright © 2005 by Stephen Hawking
All right reserved

© HUMANITAS, 2007, pentru prezenta versiune românească

EDITURA HUMANITAS
Piaţa Presei Libere 1, 013701 Bucureşti, România
tel. 021/317 18 19, fax 021/317 18 24
www.humanitas.ro
Comenzi CARTE PRIN POŞTĂ: tel. 021/311 23 30,
fax 021/313 50 35, C.P.C.E. – CP 14, Bucureşti
e-mail: cpp@humanitas.ro
www.librariilehumanitas.ro

Mulţumiri

Se cuvin mulţumiri editorului nostru, Ann Harris de la Bantam pentru că a contribuit cu talentul şi experienţa sa considerabilă la eforturile noastre de a cizela manuscrisul. Lui Glen Edelstein, directorul artistic al Editurii Bantam pentru efortul său neobosit şi pentru răbdare. Echipei noastre de artişti: Philip Dunn, James Zhang şi Kees Veenenbos, pentru timpul cheltuit ca să înveţe ceva fizică pentru ca apoi, fără a sacrifica partea ştiinţifică, să facă din această carte o apariţie fabuloasă. Agenţilor noştri, Al Zuckerman şi Susan Ginsburg de la Writer's House, pentru inteligenţa, grija şi sprijinul lor. Lui Monica Guy, pentru corectură. Şi tuturor celor care au citit cu amabilitate diferitele schiţe ale manuscrisului în încercarea noastră de a găsi pasajele a căror claritate putea fi în continuare îmbunătăţită: Dona Scott, Alexei Mlodinow, Nicolai Mlodinow, Mark Hillery, Joshua Webman, Stephen Youra, Robert Barkowitz, Martha Lowther, Katherine Ball, Amanda Bergen, Jeffrey Boehmer, Kimberly Comer, Peter Cook, Matthew Dickinson, Drew Donovanik, David Fralinger, Eleanor Grewal, Alicia Kingston, Victor Lamond, Michael Melton, Mychael Mulhern, Matthew Richards, Michelle Rose, Sarah Schmidt, Curtis Simmons, Christine Webb şi Christopher Wright.

Cuvânt înainte

Titlul acestei cărți diferă cu numai două cuvinte de acela al cărții publicate prima dată în 1988. *Scurtă istorie a timpului* a rămas timp de 237 de săptămâni pe lista celor mai vândute cărți a publicației londoneze *Sunday Times* și a fost cumpărat din ea câte un exemplar la fiecare 750 de bărbați, femei și copii de pe glob. Pentru o carte care tratează câteva dintre subiectele cele mai dificile ale fizicii moderne, *Scurtă istorie* a constituit un succes remarcabil. Totuși, aceste subiecte dificile sunt totodată și cele mai atrăgătoare, deoarece ele se referă la întrebările cele mai mari, la acelea fundamentale. Ce lucruri știm cu adevărat despre univers? Cum ajungem să le cunoaștem? De unde provine universul și încotro se îndreaptă? Aceste probleme constituiau esența *Scurtei istorii a timpului* și ele se află și în centrul cărții de față.

În anii de când a fost publicată *Scurta istorie a timpului*, au venit reacții din partea cititorilor de toate vârstele și profesiile și din toate colțurile lumii. În mod repetat, s-a cerut o nouă versiune, una care să mențină esențialul *Scurtei istorii*, dar să explice mai clar, mai pe îndelete, cele mai importante concepte. Deși ne-am fi putut aștepta ca o astfel de carte să fie intitulată *O mai puțin scurtă istorie a timpului*, era clar din reacția publicului că nu erau prea mulți cititorii care ar fi dorit o disertație amănunțită, adecvată mai degrabă cursurilor de cosmologie la nivel de colegiu.

De unde și actualul demers. Scriind *O mai scurtă istorie a timpului*, noi am menținut și am extins conținutul esențial al cărții inițiale, având totodată grijă să-i menținem volumul și ușurința la lectură. Cartea noastră este cu adevărat o mai scurtă istorie, deoarece o parte a conținutului său mai tehnic a fost lăsată deoparte; în schimb, suntem astfel răsplătiți cu asupra de măsură prin tratarea mai scrutătoare a materialului care alcătuiește cu adevărat miezul cărții.

Ne-am folosit totodată de ocazie ca să aducem cartea la zi și să includem noi teorii și rezultate ale observațiilor. *O mai scurtă istorie a timpului* descrie progresele recente pe calea elaborării unei teorii complet unificate a tuturor forțelor fundamentale ale fizicii. În particular, *O mai scurtă istorie* prezintă succesul obținut în teoria corzilor și „dualitățile" sau corespondențele dintre diferitele teorii fizice, care constituie indicații ale existenței unei teorii unificate a fizicii. Din latura observațională, cartea include noile determinări importante, ca acelea efectuate de satelitul Cosmic Background Explorer (COBE, exploratorul fondului cosmic) și de telescopul spațial Hubble.

Cu circa patruzeci de ani în urmă, Richard Feynman a spus: „Suntem norocoși să trăim într-o epocă în care se mai fac încă descoperiri. E la fel ca descoperirea Americii — o faci numai o dată. Epoca noastră este epoca în care descoperim legile fundamentale ale naturii." Astăzi suntem mai aproape decât oricând de înțelegerea naturii universului. Scopul pe care-l urmărim prin scrierea acestei cărți este să împărtășim publicului ceva din farmecul noilor descoperiri și din noua imagine a realității care apare ca rezultat al acestora.

1
Gândind despre univers

Trăim într-un univers straniu și minunat. Vârsta, dimensiunile, violența și frumusețea care îl caracterizează cer o imaginație extraordinară pentru a-l prețui. Locul pe care-l dețin oamenii în acest cosmos vast pare destul de insignifiant. Și totuși, încercăm să găsim o rațiune pentru toate și să înțelegem cum ne înscriem noi înșine în acest tablou. Cu câteva decenii în urmă, un cunoscut om de știință (unii spun că ar fi fost Bertrand Russell) a ținut o lecție publică despre astronomie. El a povestit cum se rotește Pământul în jurul Soarelui și cum, la rândul său, Soarele orbitează în jurul centrului unei imense aglomerări de stele numită galaxia noastră. La sfârșitul lecției, o bătrânică din spate s-a ridicat și a spus: „Ce ne-ați prezentat aici este o aiurcală. Adevărul este că lumea-i o farfurie plată susținută pe spinarea unei broaște țestoase uriașe." Înainte de a răspunde, omul de știință a zâmbit condescendent: „Și țestoasa pe ce stă?" „Sunteți foarte deștept, tinere, foarte deștept", a răspuns bătrâna doamnă, „dar sunt numai țestoase tot așa în jos !"

Cei mai mulți oameni de azi vor considera mai degrabă ridicolă imaginea universului nostru ca fiind un turn infinit de broaște țestoase. Dar de ce ar trebui să credem că noi știm mai bine? Uitați pentru o clipă tot ce știți — sau credeți că știți — despre spațiu. Priviți apoi în sus la cerul nocturn. Ce veți gândi despre mulțimea punctelor de lumină? Sunt ele niște mici focuri? E greu să-ți imaginezi ce reprezintă ele cu adevărat, fiindcă ceea ce sunt ele cu adevărat se află foarte

departe, dincolo de experiența noastră obișnuită. Dacă sunteți un privitor stăruitor al cerurilor, atunci ați văzut, probabil, lumina slabă pâlpâind deasupra orizontului la crepuscul. Este o planetă, Mercur, dar o planetă deloc asemănătoare cu a noastră. Pe Mercur, o zi durează două treimi din anul acelei planete. Atunci când Soarele este sus, suprafața planetei atinge temperaturi de peste 400 de grade, ca apoi, la sfârșitul nopții, temperatura să scadă la minus 200 de grade Celsius. Deși o stea obișnuită este la fel de diferită cât este Mercur față de planeta noastră, nici steaua nu e mai ușor de imaginat ca un cuptor uriaș care mistuie miliarde de kilograme de materie și atinge temperaturi de zeci de milioane de grade în nucleul său.

Un alt lucru dificil de imaginat este cât de departe se află în realitate planetele și stelele. Vechii chinezi au înălțat turnuri de piatră astfel încât să poată privi mai de aproape la stele. Este firesc să crezi că stelele și planetele se află mult mai aproape decât sunt ele de fapt — la urma urmei, în viața de fiecare zi, noi nu avem experiența imenselor distanțe din spațiu. Acestea sunt atât de mari, încât nu are nici un sens să le măsurăm în picioare sau mile, așa cum măsurăm cele mai multe distanțe. În locul lor, folosim anul-lumină, care reprezintă distanța străbătută de lumină într-un an. Lumina parcurge într-o secundă 186 000 mile, astfel că un an-lumină este o distanță foarte mare. Cea mai apropiată stea, alta decât Soarele nostru, este Proxima Centauri (cunoscută și sub numele de Alpha Centauri C) care se află la o depărtare de circa patru ani-lumină. Steaua Proxima este deci atât de departe, încât celui mai rapid vehicul spațial aflat astăzi pe planșetele proiectanților i-ar trebui circa zece mii de ani pentru o călătorie.

Popoarele din vechime s-au străduit să înțeleagă universul, dar ele nu elaboraseră încă matematica și științele noastre. Astăzi dispunem de instrumente foarte puternice: mentale — ca matematica și metoda științifică — și tehnologice — cum ar fi calculatoarele și telescoapele. Cu ajutorul acestor instrumente, oamenii de știință au adunat o mulțime de cunoștințe despre spațiu. Dar ce știm noi cu adevărat despre univers și cum am aflat toate acestea? De unde vine universul? Încotro se îndreaptă? A avut el un început, iar dacă a avut, ce s-a întâmplat înainte de acesta? Care este natura timpului? Va avea el un sfârșit? Putem oare călători înapoi în timp? Recentele progrese din fizică, obținute în parte prin noua tehnologie, ne sugerează răspunsuri la aceste vechi întrebări. Uneori, răspunsurile pot să ne pară tot atât de logice ca ideea Pământului rotindu-se în jurul Soarelui — ori, poate la fel de ridicole ca turnul din broaște țestoase. Numai timpul (orice ar putea fi acesta) ne-o va spune.

2

Imaginea noastră evolutivă despre univers

Cu toate că până și pe vremea lui Cristofor Columb era ceva obișnuit să întâlnești oameni care credeau că Pământul este plat (ba chiar și în zilele noastre mai există unii care cred asta), putem găsi rădăcinile astronomiei moderne cu mult timp în urmă, la vechii greci. În jurul anului 340 î. Cr., filozoful grec Aristotel a scris o carte, *Despre cer**. Aristotel a adus în această carte argumente valabile și convingătoare pentru ideea că Pământul este mai degrabă rotund ca o sferă, decât plat ca o farfurie.

Unul dintre argumentele sale se bazează pe eclipsele de lună. Aristotel a înțeles că aceste eclipse sunt provocate de Pământ atunci când acesta se situează între Soare și Lună. Atunci când evenimentul are loc, Pământul își proiectează umbra pe Lună, provocând astfel eclipsa. Aristotel a observat că umbra Pământului este întotdeauna rotundă. Se poate aștepta așa ceva doar dacă Pământul este o sferă și nu un disc plat. Dacă Pământul ar fi un disc plat, umbra sa ar fi circulară numai dacă eclipsa s-ar produce în clipa în care Soarele ar fi direct în dreptul centrului discului. În celelalte momente, umbra ar fi alungită în forma unei elipse (elipsa este un cerc alungit).

Grecii aveau și un alt argument pentru ideea că Pământul e rotund. Dacă pământul ar fi plat, v-ați aștepta ca o corabie care se apropie venind dinspre orizont să apară mai întâi

* Autorii folosesc titlul în limba engleză, *On Heavens*; în latină, lucrarea Stagiritului poartă titlul *De Caelo*, la singular. (*N. t.*)

minusculă, ca un punct fără detalii. Apoi, pe măsură ce plutește mai aproape, ați putea remarca treptat mai multe amănunte, cum ar fi pânzele și corpul navei. Dar lucrurile nu se petrec deloc așa. Atunci când o navă apare la orizont, primul lucru pe care îl vedeți sunt pânzele acesteia. Abia ceva mai târziu îi veți vedea carena. Faptul că pânzele corabiei, ridicate mai sus decât corpul ei, constituie prima parte a navei care străpunge linia orizontului ieșind deasupra lui constituie dovada că Pământul este ca o minge.

Grecii au acordat de asemenea multă atenție cerului nocturn. Pe vremea lui Aristotel, oamenii au înregistrat timp de secole cum se mișcă luminile pe cerul întunecat. Ei au

SOSIND DE DINCOLO DE ORIZONT

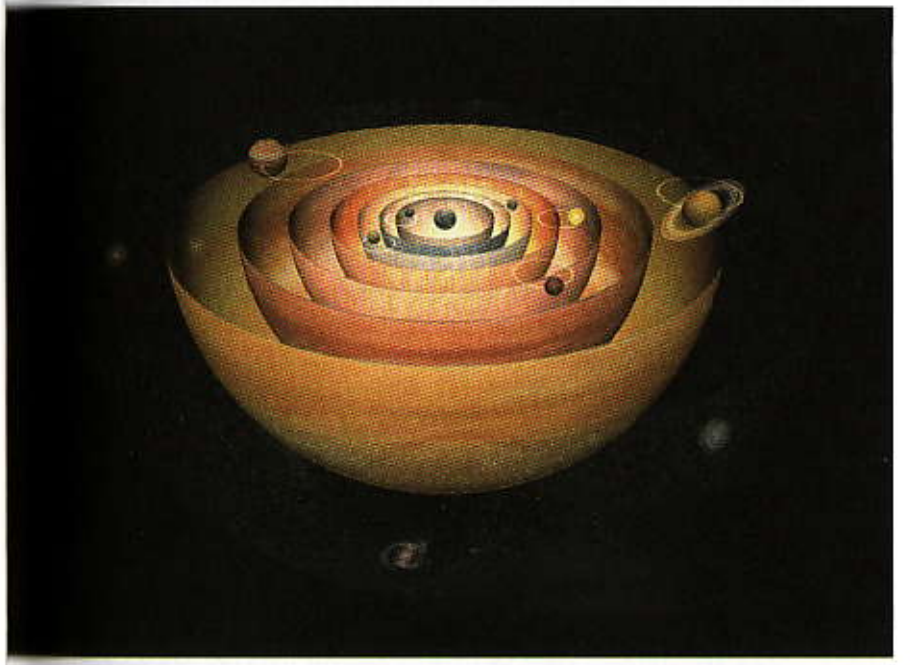
Deoarece Pământul este o sferă, catargul și pânzele unei corăbii sosind de dincolo de orizont se zăresc înaintea corpului navei.

observat că, deși cele mai multe dintre miile de lumini pe care le vedeau păreau să se miște împreună de-a curmezișul cerului, cinci dintre ele (fără a socoti Luna) nu se deplasau așa. Ele se rătăceau uneori din drumul lor regulat de la est la vest și pe urmă coteau înapoi. Aceste lumini au fost denumite planete — care este cuvântul grecesc pentru „rătăcitoare". Grecii au observat numai cinci planete, deoarece numai cinci pot fi văzute cu ochiul liber: Mercur, Venus, Marte, Jupiter și Saturn. Astăzi știm de ce planetele se deplasează după traiectorii atât de neobișnuite pe cer: în timp ce stelele sunt aproape nemișcate față de sistemul nostru solar, planetele orbitează în jurul Soarelui, astfel încât mișcarea lor pe cerul nocturn este mult mai complicată decât mișcarea stelelor îndepărtate.

Aristotel considera că Pământul este staționar și că Soarele, Luna, planetele și stelele se mișcă pe orbite circulare în jurul Pământului. El credea aceasta deoarece, din rațiuni mistice, își închipuia că Pământul este centrul universului și că mișcarea circulară este perfectă. În cel de-al doilea secol d. Cr., un alt grec, Ptolemeu, a transformat ideea lui Aristotel într-un model complet al cerurilor. Ptolemeu era pasionat de studiile sale. „Atunci când urmăresc din plăcere mulțimea compactă de stele aflate pe parcursul lor circular", scria el, „picioarele-mi nu mai ating pământul."

În modelul lui Ptolemeu, Pământul era înconjurat de opt sfere rotitoare. Fiecare sferă succesivă era mai mare decât cea interioară, în mod oarecum asemănător păpușilor rusești Matrioșka. Pământul era situat în centrul sferelor. Nu a fost niciodată clar ce anume se afla dincolo de ultima sferă, dar, în mod cert, ce era acolo nu constituia o parte din universul observabil pentru specia umană. Sfera cea mai depărtată constituia așadar un fel de frontieră, sau un container pentru univers. Stelele ocupau locuri fixe pe această sferă, astfel că, atunci când sfera se rotea, stelele rămâneau în aceleași poziții unele față de altele, toate rotindu-se împreună pe cer ca un grup, exact așa cum le vedem. Cum sferele planetare se roteau, iar planetele se mișcau ele însele față de propriile lor sfere, traiectoriile lor în raport cu Pământul nu erau deloc simple. În acest fel, Ptolemeu putea să explice de ce drumul observat al planetelor este mult mai complicat decât niște simple cercuri pe cer.

Ptolemeu a oferit un sistem destul de corect pentru prevederea pozițiilor corpurilor cerești pe boltă. Dar, pentru a le prezice în mod corect, Ptolemeu a trebuit să presupună că Luna urmează o traiectorie care o aduce uneori de două ori mai aproape de Pământ decât în alte cazuri, ceea ce înseamnă că Luna ar trebui să apară câteodată de două ori mai mare



MODELUL LUI PTOLEMEU

În modelul lui Ptolemeu, Pământul se află în centrul universului, fiind înconjurat de opt sfere care purtau toate corpurile cerești cunoscute.

decât în celelalte cazuri! Ptolemeu a recunoscut acest neajuns, dar, cu toate acestea, modelul său a fost, dacă nu universal, cel puțin general acceptat. El a fost adoptat de asemenea de creștinism, deoarece imaginea universului ptolemeic era concordantă cu Scriptura, prezentând marele avantaj de a lăsa destul de mult loc în afara sferei stelelor fixe pentru rai și iad.

În 1514, preotul polonez Nicolai Copernic a propus însă un alt model. (La început, probabil de teamă de a nu fi etichetat drept eretic de biserica lui, Copernic a făcut să circule anonim modelul.) Copernic a avut ideea revoluționară* că nu toate corpurile cerești trebuie să orbiteze în jurul Pământului. Ideea sa a fost, de fapt, că Soarele este staționar în centrul sistemului solar și că Pământul și planetele se mișcă în jurul său pe orbite circulare. La fel ca modelul lui Ptolemeu, modelul lui Copernic funcționa bine, dar nu se potrivea perfect cu observațiile. Deoarece era mult mai simplu decât modelul lui Ptolemeu**, se poate presupune că ar fi trebuit să fie adoptat încă de atunci. Și totuși, a trebuit să treacă aproape un secol pentru ca această idee să fie luată în serios. Apoi, doi astronomi — germanul Johannes Kepler și italianul Galileo Galilei — au început să susțină public teoria copernicană.

În 1609, Galileo a început să studieze cerul nocturn cu un telescop, instrument care fusese inventat de curând. Atunci când a privit planeta Jupiter, Galileo a văzut că era acompaniată de câțiva mici sateliți care orbitau în jurul ei. De aici rezulta că nu toate corpurile trebuie să se rotească direct în

* În celebra sa carte *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543), Copernic își dezvăluie sursele antice, care merg până la Aristarh din Samos. (A se vedea Arthur Koestler, *Lunaticii. Evoluția concepției despre Univers de la Pitagora la Galilei*, trad. și cuvânt înainte de Gheorghe Stratan, Humanitas, 1995, pp. 160–161.) (*N. t.*)

** Afirmația autorilor privind simplitatea relativă a modelului copernican față de cel ptolemeic trebuie privită cu prudență, deoarece Copernic a avut nevoie de mai multe cercuri planetare (epicicluri) decât Ptolemeu. A se vedea Koestler, *ibid.*, p. 150. (*N. t.*)

jurul Pământului, așa cum crezuseră Aristotel și Ptolemeu. În același timp, Kepler a îmbunătățit teoria lui Copernic, sugerând faptul că planetele se mișcă nu după cercuri, ci după elipse. Cu această schimbare, dintr-odată, predicțiile teoriei au coincis cu observațiile. Toate aceste evenimente au dat o lovitură mortală modelului ptolemeic.

Deși orbitele eliptice îmbunătățeau modelul lui Copernic, în ceea ce-l privește pe Kepler ele reprezentau un fel de ipoteză-expedient. Și aceasta datorită faptului că Johannes Kepler avea idei preconcepute despre natură, idei care nu se întemeiau pe vreo observație: la fel ca Aristotel, el credea pur și simplu că elipsele sunt mai puțin perfecte decât cercurile. Ideea că planetele s-ar mișca de-a lungul unor traiectorii atât de imperfecte l-a șocat părându-i-se prea dizgrațioasă pentru a constitui adevărul ultim*. Un alt lucru care îl deranja pe Kepler era faptul că nu a reușit să pună de acord orbitele eliptice cu ideea lui că planetele erau determinate să orbiteze în jurul Soarelui de forțe magnetice. Deși el greșea considerând forțele magnetice drept cauză a traiectoriilor planetelor, se cuvine să-i recunoaștem meritul de a fi înțeles că trebuie să existe o forță responsabilă pentru mișcare. Adevărata explicație a motivului pentru care planetele se rotesc în jurul Soarelui a fost oferită abia mult mai târziu, în 1687, când Sir Isaac Newton și-a publicat *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, probabil cea mai importantă carte apărută vreodată în domeniul științelor fizice.

În *Principia*, Newton a prezentat o lege care afirmă că toate corpurile în repaus rămân în mod natural în repaus atâta timp

* Totuși, spre deosebire de înaintașii săi — Aristotel, Ptolemeu sau Copernic — Kepler nu postulează până la urmă în nici un fel traiectoriile planetelor, așa cum a făcut-o la început, în cartea sa *Mysterium Cosmographicum* (1596). Traiectoria eliptică la care ajunge în cele din urmă este rodul încercărilor sale chinuitoare de a găsi traiectoria capabilă să reproducă datele observaționale, deci este *dedusă*. Criteriul estetic, exterior considerentelor fizice, l-a făcut să respingă însă o altă traiectorie, nesimetrică, în formă de ou, găsită anterior. (*N. t.*)

cât nici o forță nu acționează asupra lor și a arătat că o forță are ca efect punerea în mișcare a unui corp, sau modificarea mișcării acestuia. Așadar, de ce se mișcă planetele în jurul Soarelui după elipse? Newton a răspuns că există o anumită forță răspunzătoare pentru aceasta și anume aceeași care face corpurile să cadă pe Pământ în loc să rămână în repaus atunci când le dăm drumul. El a numit această forță gravitație (până la Newton, cuvântul englez *gravity* însemna fie ceva grav, serios, fie calitatea de a fi greu, greutatea). El a inventat în același timp și matematica prin care a demonstrat numeric cum reacționează corpurile atunci când o forță ca gravitația le atrage, rezolvând totodată ecuațiile care rezultă. Pe această cale, a reușit să demonstreze că, datorită gravitației Soarelui, Pământul și alte planete trebuie să se miște după niște elipse — întocmai cum prezisese Kepler! Newton a susținut că legile sale se aplică oricărui corp din univers, de la un măr care cade și până la stele și planete. Pentru prima oară în istorie cineva explica mișcarea planetelor în termenii acelorași legi care puteau determina totodată și mișcarea corpurilor de pe Pământ. Era începutul fizicii moderne, și totodată al astronomiei moderne.

Dispărând ideea de sfere a lui Ptolemeu, nu mai era nici un motiv să se considere că universul ar avea vreo graniță naturală — sfera cea mai îndepărtată. Mai mult, deoarece stelele nu păreau să-și schimbe pozițiile, în afara rotației lor comune pe bolta cerească provocată de Pământ, care se răsucește în jurul axei proprii, a devenit firesc să se presupună că stelele sunt corpuri asemănătoare Soarelui nostru, dar mult mai îndepărtate. Noi am renunțat nu numai la ideea că Pământul este centrul universului, dar și la ideea că Soarele nostru și, probabil, sistemul nostru solar, ar fi unicele aspecte ale cosmosului. Această schimbare a imaginii despre lume a reprezentat și o prefacere adâncă a gândirii umane, constituind începutul înțelegerii noastre moderne a universului.

3
Natura teoriilor științifice

Pentru a vorbi despre natura universului și a discuta despre probleme cum ar fi dacă universul are un început sau un sfârșit, trebuie să lămurim ce anume este o teorie științifică. Vom adopta punctul de vedere simplu potrivit căruia o teorie este chiar un model al universului, sau al unei părți restrânse a acestuia, și un grup de reguli care leagă cantitățile din model de observațiile pe care le efectuăm. Modelul există doar în mintea noastră și nu are nici un fel de altă realitate (orice ar însemna aceasta). O teorie este o teorie bună dacă satisface două cerințe. Ea trebuie să descrie cu acuratețe o clasă largă de observații pe baza unui model care conține doar câteva elemente arbitrare și trebuie să facă predicții bine definite cu privire la rezultatul viitoarelor observații. De exemplu, Aristotel credea în teoria lui Empedocle, conform căreia toate lucrurile sunt compuse din patru elemente : pământ, aer, foc și apă. Era simplu, dar nu făcea nici un fel de predicții limpezi. Pe de altă parte, teoria gravitației a lui Newton este bazată pe un model chiar mai simplu, în care toate corpurile se atrag între ele cu o forță proporțională cu o cantitate care se numește masa acestora și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele. Totuși, această teorie prezice mișcările Soarelui, ale Lunii și ale planetelor cu un înalt grad de precizie.

Orice teorie științifică este întotdeauna provizorie în sensul că e doar o ipoteză: n-o poți demonstra niciodată. Nu are importanță cât de mare este numărul de confirmări prin rezultate experimentale ale unei teorii, deoarece nu puteți fi

niciodată sigur că data următoare rezultatul nu o va contrazice. Pe de altă parte, puteți infirma o teorie găsind fie și o singură observație care nu se potrivește cu predicțiile teoriei respective. Așa cum a subliniat filozoful științei Karl Popper, o teorie bună este caracterizată de faptul că face un număr de predicții care pot fi în principiu infirmate sau falsificate* de experiment. De fiecare dată când noile experimente sunt în acord cu predicțiile unei teorii, ea supraviețuiește, iar încrederea noastră în acea teorie crește. Dar dacă vreodată o observație nouă se dovedește în dezacord, trebuie să abandonăm sau să modificăm teoria.

Cel puțin așa se presupune că se petrec lucrurile, dar întotdeauna se poate pune la îndoială competența persoanei care a efectuat observația.

Deseori, în practică se întâmplă ca noua teorie inventată să fie de fapt o extensie a teoriei precedente. De exemplu, observațiile foarte precise ale planetei Mercur au revelat o mică diferență între mișcarea sa și predicțiile teoriei gravitației a lui Newton. Teoria generală a relativității a lui Einstein prezicea o mișcare ușor diferită față de aceea a teoriei lui Newton. Faptul că prevederile teoriei lui Einstein coincideau cu ceea ce se observa, spre deosebire de prevederile teoriei newtoniene, a constituit una dintre confirmările cruciale ale noii teorii. Totuși, noi mai folosim în continuare teoria lui Newton pentru cele mai multe scopuri practice, deoarece diferența dintre predicțiile sale și cele ale relativității generale sunt foarte mici în situațiile cu care avem de-a face în mod normal. (De asemenea, în teoria lui Newton este mult mai simplu de calculat decât în teoria lui Einstein, ceea ce reprezintă un mare avantaj!)

Scopul ultim al științei este să ofere o unică teorie care să descrie întregul univers. Totuși, procedeul adoptat de majoritatea oamenilor de știință este separarea problemei în două

* În sensul de a fi contrazise. (*N. t.*)

părți. Prima parte constă în legile care ne spun cum se schimbă universul în timp. (Dacă știm cum este universul la un moment dat, legile fizice ne spun cum va arăta el în orice moment ulterior.) A doua parte constă în problema stării inițiale a universului. Unii consideră că știința trebuie să se preocupe numai de prima parte; ei privesc problema stării inițiale ca pe o chestiune ținând de metafizică sau de religie. Ei susțin că Dumnezeu, fiind atotputernic, ar fi putut porni universul în orice fel ar fi dorit El. Nu e exclus, dar în acest caz, Dumnezeu ar fi putut să-l facă să se dezvolte într-un mod complet arbitrar. Numai că se pare că Dumnezeu a optat pentru o evoluție foarte regulată, în conformitate cu anumite legi. Este, prin urmare, la fel de rezonabil să presupunem că există niște legi care guvernează și starea inițială.

Elaborarea unei teorii care să descrie tot universul dintr-odată se dovedește foarte dificilă. În locul acesteia, noi descompunem problema în părți și inventăm un număr de teorii parțiale. Fiecare dintre aceste teorii parțiale descrie și prezice o anumită clasă limitată de observații, neglijând efectele altor cantități, sau reprezentându-le prin simple mulțimi de numere. S-ar putea ca această aproximație să fie complet greșită. Dacă fiecare lucru pe care îl conține universul depinde în mod fundamental de tot restul universului, s-ar putea dovedi imposibil să te apropii de soluția completă prin investigarea părților problemei luate izolat. Și totuși, aceasta este fără îndoială calea care în trecut ne-a condus spre progres. Exemplul clasic este iarăși teoria newtoniană a gravitației, care ne spune că forța gravitațională dintre două corpuri depinde de numai de un singur număr asociat cu fiecare dintre ele și anume, de masa fiecăruia, fiind altfel independentă de alcătuirea corpurilor. Așadar, pentru a calcula orbitele Soarelui și planetelor, nu avem nevoie de o teorie a structurii și compoziției acestor corpuri.

DE LA ATOMI LA GALAXII

În prima jumătate a secolului XX, fizicienii au extins domeniul teoriilor lor de la lumea experienței de zi cu zi a lui Isaac Newton la extrema cea mai mică și la extrema cea mai mare a universului.

Astăzi, oamenii de știință descriu universul în termenii a două teorii parțiale fundamentale — teoria generală a relativității și mecanica cuantică. Ele sunt cuceriri intelectuale grandioase ale primei jumătăți a secolului XX. Teoria generală a relativității descrie forța gravitațională și structura la scară mare a universului întinzându-se de la numai câteva mile, până la dimensiunea de un milion de milioane de milioane de milioane (1 cu douăzeci și patru de zerouri după el) de mile, adică dimensiunea universului observabil. Pe de altă parte, mecanica cuantică se ocupă cu fenomene la scară extrem de mică, cum ar fi o milionime de milionime de țol*. Se știe însă

* Un țol are 2,54 cm. (*N. t.*)

că, din nefericire, cele două teorii sunt incompatibile una cu cealaltă — ele nu pot fi amândouă corecte. Unul dintre eforturile majore ale fizicii de astăzi și tema cea mai importantă a acestei cărți este căutarea unei noi teorii care să le înglobeze pe amândouă — teoria cuantică a gravitației. Nu avem încă o asemenea teorie și poate că mai e de străbătut un drum lung până la ea, dar cunoaștem deja multe dintre proprietățile pe care trebuie să le aibă. Și, în capitolele următoare, vom vedea că știm deja destul de multe și despre predicțiile pe care trebuie să le facă o teorie a gravitației cuantice.

Dacă credeți că universul nu este arbitrar, ci e guvernat de legi bine definite, trebuie până la urmă să combinați teoriile parțiale într-o teorie unificată completă care va descrie tot ce există în univers. Dar, în căutarea unei asemenea teorii unificate complete apare un paradox fundamental. Ideile despre teoriile științifice schițate mai sus presupun că noi suntem ființe raționale, libere să observe universul cum doresc ele și să tragă concluzii din ceea ce văd. Într-o astfel de schemă, este logic să presupunem că am putea progresa tot mai mult către cunoașterea legilor care guvernează universul nostru. Totuși, dacă o teorie unificată completă ar exista cu adevărat, ea ar putea probabil să ne determine acțiunile — astfel că teoria însăși ar determina rezultatul căutărilor noastre în vederea ajungerii la ea! Și de ce ar trebui teoria să determine ca noi să tragem concluziile corecte din dovezile existente? N-ar putea ea face ca noi să tragem concluzii greșite? Sau să nu tragem nici un fel de concluzii?

Singurul răspuns pe care-l putem da acestor întrebări se bazează pe principiul selecției naturale al lui Darwin. Ideea este că în orice populație de organisme care se autoreproduc vor exista variații în materialul genetic și în dezvoltarea fiecărui individ. Aceste diferențe înseamnă că anumiți indivizi sunt mai capabili decât ceilalți să tragă concluzii corecte despre lumea din jurul lor și să acționeze în consecință. Va fi mai probabil ca asemenea indivizi să trăiască și să se reproducă,

astfel încât tiparul lor de comportament și de gândire va ajunge dominant. Cu siguranță, în trecut tot ceea ce numim noi inteligență și descoperire științifică a conferit un avantaj pentru supraviețuire. Nu mai este însă clar dacă acest fapt rămâne adevărat și în prezent: descoperirile noastre științifice ne-ar putea distruge și, chiar dacă nu s-ar întâmpla așa, o teorie unificată completă s-ar putea să nu influențeze șansele noastre de supraviețuire. Totuși, deoarece universul a evoluat într-un mod regulat, ne putem aștepta ca înzestrarea noastră cu capacități raționale dobândite prin evoluție să fie valabilă și pentru demersul nostru de căutare a teoriei unificate complete, iar astfel să nu ne îndrepte către concluzii greșite.

Deoarece teoriile parțiale pe care le avem deja sunt suficiente pentru a face predicții corecte în toate cazurile, cu excepția situațiilor extreme, căutarea teoriei finale a universului pare dificil de justificat din punct de vedere practic. (Merită totuși să menționăm că argumente similare ar fi putut fi folosite și împotriva relativității și mecanicii cuantice, iar acestea ne-au adus și energia nucleară, și revoluția microelectronicii.) Descoperirea unei teorii unificate complete s-ar putea să nu aducă ceva în plus pentru supraviețuirea speciei noastre. S-ar putea chiar să nu ne modifice nici stilul de viață. Dar încă din zorii civilizației pe oameni i-a nemulțumit o perspectivă în care evenimentele nu aveau nici o legătură între ele și erau inexplicabile. Ne-am dorit mult să înțelegem ordinea pe care este bazată lumea. Astăzi, tânjim în continuare să aflăm de ce suntem aici și de unde venim. Dorința cea mai profundă a umanității de cunoaștere constituie o justificare suficientă pentru permanenta noastră căutare. Iar scopul urmărit este nici mai mult, nici mai puțin decât descrierea completă a universului în care trăim.

4
Universul lui Newton

Ideile noastre actuale despre mișcarea corpurilor datează din vremea lui Galileo și Newton. Înainte de ei, lumea îl credea pe Aristotel, care spunea că starea naturală a unui corp este să se afle în repaus, corpurile mișcându-se numai împinse de o forță sau de un impuls. Rezulta că un corp mai greu ar fi trebuit să cadă mai repede decât unul ușor, deoarece este tras mai puternic către pământ. Tradiția aristotelică susținea de asemenea că toate legile care guvernează universul se pot deduce prin pură gândire: verificarea prin observație nici nu era necesară. Astfel, nimeni până la Galileo nu s-a ostenit să vadă dacă într-adevăr corpurile de greutăți diferite cad cu viteze diferite. Se spune că Galileo ar fi demonstrat că părerea lui Aristotel era falsă lăsând să cadă greutăți din turnul înclinat din Pisa. Povestea e aproape sigur falsă, în schimb Galileo a făcut ceva echivalent: el a lăsat să se rostogolească în jos bile de diferite greutăți pe un plan înclinat neted. Situația este asemănătoare cu aceea a corpurilor grele căzând vertical, dar așa este mai ușor de observat, deoarece vitezele sunt mai mici. Măsurătorile lui Galileo au arătat că viteza fiecărui corp crește în același ritm, indiferent de greutate. De exemplu, dacă lăsați o bilă pe un plan care coboară câte un metru la fiecare zece metri de parcurs, bila va coborî pe planul înclinat cu o viteză de circa un metru pe secundă după o secundă, de doi metri pe secundă după două secunde și așa mai departe, indiferent cât

de grea este bila*. Desigur că o greutate de plumb va cădea mai repede decât o pană, dar asta numai datorită faptului că pana este frânată de rezistența aerului. Dacă veți lăsa să cadă două corpuri care nu întâmpină o prea mare rezistență din partea aerului, așa cum ar fi două greutăți de plumb, ele vor cădea la fel. (Vom vedea imediat de ce.) Pe Lună, unde nu există aer care să frâneze căderea corpurilor, astronautul David R. Scott a efectuat experimentul cu fulgul și bila de plumb și a observat că, într-adevăr, ambele lovesc solul în același timp.

Măsurătorile lui Galileo au fost folosite de Newton pentru fundamentarea legilor sale de mișcare. În experimentele lui Galileo, corpul care se rostogolea se afla tot timpul sub influența aceleiași forțe (greutatea proprie), iar efectul ei era mărirea constantă a vitezei. Aceasta demonstra că efectul real al unei forțe este întotdeauna schimbarea vitezei unui corp și nu doar punerea lui în mișcare, așa cum se credea mai înainte. Mai demonstra și că, ori de câte ori un corp nu este sub acțiunea vreunei forțe, acesta va continua să se deplaseze în linie dreaptă și cu aceeași viteză. Această idee a fost formulată pentru prima oară în mod explicit în 1687 în *Principia Mathematica* a lui Newton, fiind cunoscută ca prima lege a lui Newton. Ce anume se întâmplă cu corpul atunci când asupra sa acționează o forță este descris în cea de-a doua sa lege. Corpul va fi accelerat sau, cu alte cuvinte, își va schimba viteza cu o rată care este proporțională cu forța. (De exemplu, accelerația este dublă dacă forța este dublă.) Accelerația este de asemenea cu atât mai mică cu cât masa corpului (cantitatea sa de materie) este mai mare. (Aceeași forță, acționând

* Experimentul înfățișat de Hawking nu poate avea acest rezultat, deoarece bilele nu alunecă, ci se rostogolesc, iar în acest caz, viteza depinde de anumite caracteristici ale bilei (de așa-numitul moment de inerție). Hawking simplifică problema mai mult decât Galilei, evident, pentru a ușura lectura. (*N. t.*).

asupra unei mase duble, va imprima jumătate din accelerație.) Un exemplu familiar este oferit de automobil: cu cât motorul e mai puternic, cu atât mai mare este accelerația mașinii, dar cu cât mașina e mai grea, cu atât mai mică este accelerația imprimată de același motor.

În plus față de legile de mișcare, care descriu cum reacționează corpurile la forțe, teoria newtoniană a gravitației descrie cum poate fi determinată tăria unui tip special de forță, gravitația. Această teorie afirmă că fiecare corp atrage fiecare alt corp cu o forță proporțională cu masa fiecărui corp. Cu alte cuvinte, forța dintre două corpuri va fi de două ori mai puternică dacă unul dintre corpuri (să zicem, corpul A)

ATRACȚIA GRAVITAȚIONALĂ A CORPURILOR COMPUSE

Dacă masa unui corp se dublează, la fel se întâmplă și cu forța gravitațională pe care o exercită acesta.

Kyle M. Steven Hawking

își dublează masa. Este exact lucrul la care te puteai aștepta, deoarece se poate considera un corp nou, A, alcătuit din două corpuri, fiecare având masa celui inițial. Atunci, fiecare dintre cele două corpuri va atrage corpul B cu forța inițială. În acest caz, forța totală dintre A și B va fi de două ori mai mare decât forța inițială. Și dacă, de pildă, unul dintre corpuri ar avea masa de șase ori mai mare, sau dacă unul ar avea masa de două ori mai mare, iar celălalt de trei ori mai mare, atunci forța dintre cele două corpuri ar fi de șase ori mai puternică.

Acum puteți înțelege de ce toate corpurile cad la fel de repede. Conform legii gravitației a lui Newton, un corp care cântărește de două ori mai mult, va fi tras în jos de o forță a gravitației de două ori mai mare. Dar, în același timp, el va avea masa de două ori mai mare și astfel, conform celei de-a doua legi a lui Newton, va avea accelerația redusă la jumătate. Conform legilor lui Newton, cele două efecte se vor compensa, astfel că accelerația va fi aceeași, indiferent care este greutatea.

Legea gravitației a lui Newton ne spune că, pe măsură ce corpurile se depărtează unul de altul, forța dintre ele devine mai mică. Legea spune că atracția gravitațională a unei stele este exact un sfert din aceea a unei stele similare aflate la jumătatea distanței. Această lege prezice cu multă precizie orbitele Pământului, Lunii și planetelor. Dacă legea gravitației ar fi alta, astfel încât atracția stelei să scadă mai repede sau mai încet cu distanța, orbitele planetelor nu ar mai fi eliptice, iar planetele fie s-ar mișca în spirală către Soare, fie ar scăpa din atracția lui.

Marea diferență dintre ideile lui Aristotel și cele ale lui Galileo și Newton este că Aristotel credea în existența unei stări preferențiale de repaus, la care fiecare corp ar ajunge în absența unei forțe motrice sau a unui impuls. În particular, el considera că Pământul este în repaus. Dar din legile lui Newton rezultă că nu există un standard unic pentru repaus. Se poate

spune la fel de bine că un corp A este în repaus și că alt corp, B, se mișcă uniform față de A sau, reciproc, că B se află în repaus, iar corpul A se mișcă. De exemplu, dacă facem pentru moment abstracție de rotația Pământului și de mișcarea sa orbitală în jurul Soarelui, atunci ați putea afirma că Pământul se află în repaus și că un tren se deplasează spre nord cu nouăzeci de mile pe oră, sau că trenul este în repaus, iar Pământul se deplasează spre sud cu nouăzeci de mile pe oră. Dacă veți face în tren experimente cu corpuri în mișcare, toate legile lui Newton vor rămâne valabile. Cine are dreptate, Newton sau Aristotel, și cum puteți stabili acest lucru?

Un test ar putea fi următorul: imaginați-vă că sunteți închis într-o cutie și că nu știți dacă această cutie este așezată pe podeaua unui tren în mișcare, sau pe solul terestru, acest al doilea caz constituind după Aristotel standardul repausului. Există vreo cale de a afla cum stau lucrurile? Dacă da, atunci poate că Aristotel a avut dreptate, iar prin urmare faptul de a te găsi pe Pământ constituie într-adevăr ceva special. Dar, dacă ați efectua experimente în cutia aflată în trenul în mers, ele s-ar desfășura exact ca în cutia „staționară" dintr-un tren oprit (cu condiția ca în primul caz să nu existe șocuri, cotituri, sau alte imperfecțiuni în călătoria trenului). Jucând ping-pong în tren, ați constata că mingea se comportă întocmai ca o minge de ping-pong pe masa aflată la sol. Iar dacă ați juca tenis de masă în cutie la diferite viteze față de Pământ, de pildă, la zero, cincizeci și nouăzeci de mile pe oră, mingea s-ar comporta la fel în toate aceste situații. Așa se comportă natura și așa o descrie matematica legilor lui Newton: e imposibil de stabilit dacă trenul sau Pământul este cel care se mișcă. Conceptul de mișcare are sens numai dacă se raportează la alte corpuri.

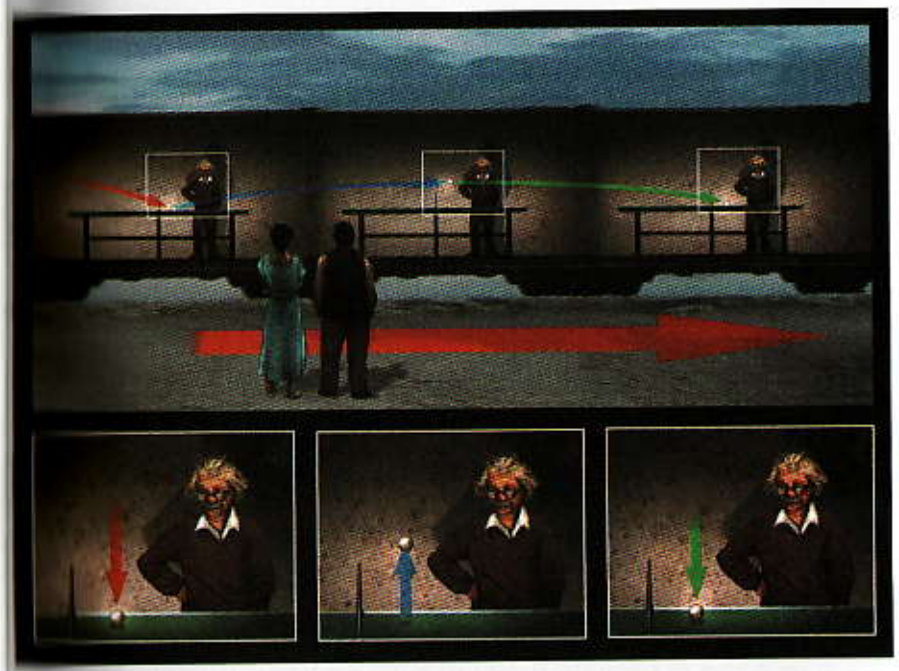
Este cu adevărat important care dintre cei doi are dreptate, Aristotel sau Newton? Este oare vorba mai degrabă de o diferență de perspectivă sau filozofică, ori este o problemă importantă și pentru știință? De fapt, absența unui standard

absolut al repausului are implicații profunde pentru fizică, deoarece aceasta înseamnă că nu putem determina dacă două evenimente care au avut loc în momente diferite s-au petrecut în aceeași poziție în spațiu.

Pentru a ne reprezenta fenomenul, să presupunem că, în tren, cineva bate o minge de ping-pong în sus și în jos, astfel ca mingea să lovească masa în același loc la intervale de o secundă. Pentru această persoană, între poziția primei lovituri și poziția celei de-a doua există o separare spațială egală cu zero. Pentru cineva care se află în afara trenului, cele două impacturi consecutive ale mingii par să se producă în poziții separate printr-o distanță de circa patruzeci de metri, deoarece trenul a parcurs această distanță pe șine între cele două căderi ale mingii. După Newton, ambii observatori au tot dreptul să se considere în repaus, astfel încât cele două păreri sunt în mod egal acceptabile. Spre deosebire de ce credea Aristotel, nu există vreun observator favorizat. Poziția evenimentelor și distanța dintre acestea vor fi diferite pentru cele două persoane, una aflată în tren, cealaltă lângă șine și nu ar exista nici un fel de motive pentru a prefera una dintre observații în dauna celeilalte.

Newton a fost foarte necăjit de absența unei poziții absolute, sau a spațiului absolut, așa cum fusese el numit, deoarece era în dezacord cu ideea lui de Dumnezeu absolut. De fapt, Newton a refuzat să accepte inexistența unui spațiu absolut, chiar dacă rezulta din legile sale. El a fost criticat sever de mulți gânditori, cel mai cunoscut fiind episcopul Berkeley, un filozof care credea că toate corpurile materiale, precum și spațiul și timpul sunt doar niște iluzii. Atunci când faimosul dr. Johnson a aflat despre ideea lui Berkeley, el a strigat: „O resping astfel!" și a dat cu piciorul într-un pietroi*.

* Episod celebru relatat de James Boswell (1740–1795) în cartea sa dedicată lui Samuel Johnson (1709–1784), autorul primului dicționar al limbii engleze. (*N. t.*)



RELATIVITATEA DISTANȚEI

Distanța — și parcursul — pe care se deplasează un corp pot arăta diferit pentru observatori diferiți.

Și Aristotel și Newton credeau în timpul absolut. Ei credeau că intervalul de timp dintre două evenimente poate fi măsurat fără probleme și că acest timp ar fi același oricine l-ar măsura, cu condiția să dispună de un ceas bun. Spre deosebire de spațiul absolut, timpul absolut este în acord cu legile lui Newton. Cei mai mulți oameni ar considera de bun-simț să privești lucrurile astfel. Dar, în secolul XX, fizicienii au înțeles că trebuie să-și modifice ideile despre timp și spațiu. După cum vom vedea, ei au descoperit că intervalul de timp dintre două evenimente, la fel ca distanța dintre

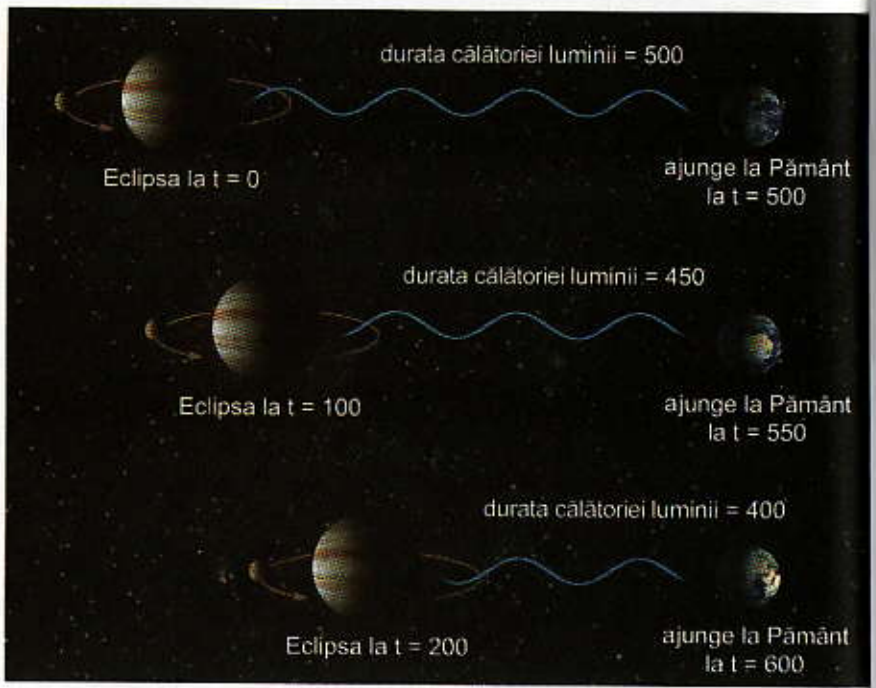
punctele în care mingea de ping-pong lovește masa depind de observator. Ei au mai descoperit că timpul nu este complet separat de spațiu și nici independent de el. Cheia acestei schimbări de perspectivă a fost o nouă concepție privind proprietățile luminii. Toate acestea par să contrazică experiența noastră, dar, deși noțiunile noastre aparent de bun-simț sunt suficiente când avem de-a face cu corpuri cum ar fi merele sau planetele care se mișcă relativ încet, ele devin complet inoperante pentru lucrurile care se deplasează cu viteza luminii sau cu valori apropiate de aceasta.

5
Relativitatea

Faptul că lumina se deplasează cu o viteză finită, dar foarte mare, a fost descoperit în 1676 de astronomul danez Ole Christensen Roemer. Dacă observați sateliții lui Jupiter, veți vedea că, din timp în timp, ei dispar din câmpul vizual, deoarece trec în spatele uriașei planete. Aceste eclipse ale lunilor lui Jupiter ar trebui să se producă la intervale regulate, dar Roemer a observat că eclipsele nu erau despărțite de intervale egale. Accelerau sau frânau oare sateliții pe orbitele lor? El a găsit însă o altă explicație. Dacă lumina s-ar deplasa cu o viteză infinită, atunci noi, aici, pe Pământ, am vedea eclipsele la intervale regulate, exact în același moment în care s-au produs ele, ca ticăitul unui ceas cosmic. Deoarece, în acest caz, lumina ar traversa instantaneu orice distanță, situația nu s-ar schimba dacă Jupiter s-ar apropia sau s-ar depărta de Pământ.

Imaginați-vă însă că lumina se deplasează cu viteză finită. Dacă este așa, atunci noi vom vedea fiecare eclipsă la ceva timp după ce aceasta s-a produs. Întârzierea depinde de viteza finită a luminii *și* de distanța de la Jupiter la Pământ. Dacă Jupiter nu și-ar modifica distanța până la Pământ, atunci întârzierea ar fi aceeași pentru fiecare eclipsă. Dar Jupiter se apropie uneori mai mult de Pământ. În acest caz, „semnalul" de la fiecare eclipsă succesivă are o distanță din ce în ce mai mică de parcurs, astfel încât el ajunge din ce în ce mai devreme față de cazul în care Jupiter ar fi rămas la o distanță constantă. Din motive asemănătoare, atunci când Jupiter se îndepărtează de Pământ, vedem eclip-

sele tot mai târziu. Gradul de anticipare sau de întârziere al observării eclipselor depinde de viteza luminii, iar aceasta ne permite s-o măsurăm. Așa a și procedat Roemer. El a observat că eclipsele unuia dintre sateliții lui Jupiter apăreau mai devreme atunci când Pământul se apropia de orbita lui Jupiter și mai târziu atunci când Pământul se depărta și a folosit această diferență pentru a calcula viteza luminii. Dar,


durata călătoriei luminii = 500
Eclipsa la t = 0
ajunge la Pământ
la t = 500
durata călătoriei luminii = 450
Eclipsa la t = 100
ajunge la Pământ
la t = 550
durata călătoriei luminii = 400
Eclipsa la t = 200
ajunge la Pământ
la t = 600

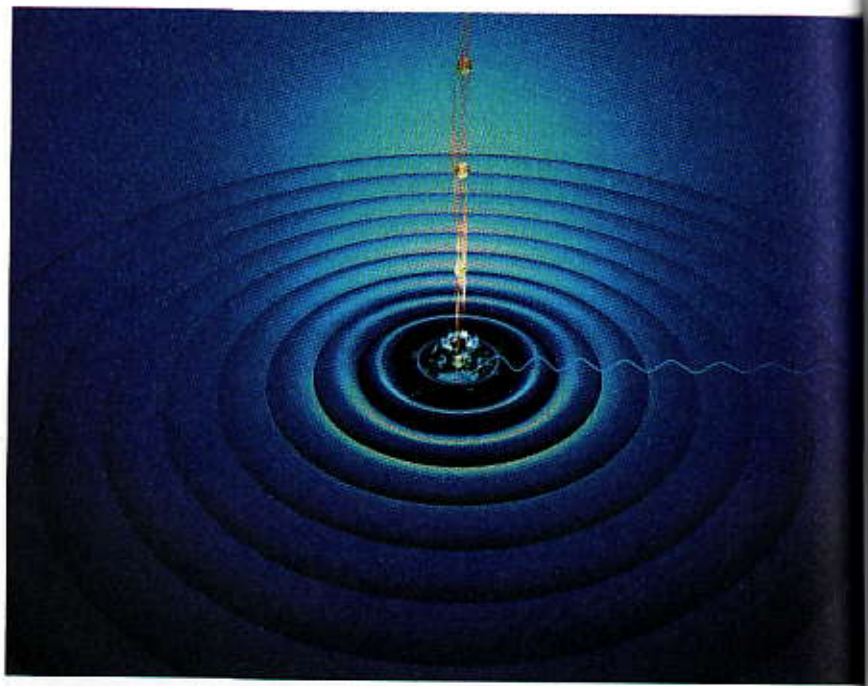
VITEZA LUMINII ȘI MOMENTELE ECLIPSELOR

Timpii observați ai eclipselor sateliților lui Jupiter depind și de timpul lor real și de timpul necesar luminii pentru a se deplasa de la Jupiter la Pământ. Astfel, eclipsele par mai frecvente atunci când Jupiter se mișcă spre Pământ și mai puțin frecvente atunci când se îndepărtează. Pentru mai multă claritate, aici efectul este exagerat.

măsurătorile sale privind variațiile a distanței de la Pământ la Jupiter nu erau foarte precise, astfel că valoarea obținută pentru viteza luminii a fost de 140 000 de mile pe secundă, față de valoarea modernă de 186 000 de mile pe secundă. Cu toate acestea, faptul că Roemer a demonstrat că lumina se propagă cu viteză finită, iar în plus a reușit și să măsoare viteza, a reprezentat o realizare excepțională, înfăptuită cu unsprezece ani înainte ca Newton să publice *Principia Mathematica*.

O teorie adecvată a propagării luminii nu a apărut până în anul 1865, când fizicianul britanic James Clerk Maxwell a reușit să unifice teoriile parțiale care fuseseră folosite până atunci ca să descrie forțele electricității și ale magnetismului. Deși electricitatea și magnetismul au fost cunoscute din Antichitate, abia în secolul al XVIII-lea chimistul britanic Henry Cavendish și fizicianul francez Charles Augustin de Coulomb au stabilit legile cantitative care guvernează forțele electrice dintre două corpuri încărcate. După câteva decenii, la începutul secolului al XIX-lea, câțiva fizicieni au stabilit legi analoage pentru forțele magnetice. Maxwell a demonstrat matematic faptul că aceste forțe electrice și magnetice nu apar din interacția directă dintre particule, ci fiecare sarcină electrică și curent electric creează în spațiul din jur un câmp care exercită o forță asupra tuturor sarcinilor și curenților care se află în acel spațiu. El a descoperit că forțele electrice și forțele magnetice sunt susținute de un singur câmp; așadar, electricitatea și magnetismul constituie aspecte inseparabile ale aceleiași forțe. El a numit această forță forța electromagnetică, iar câmpul care o susține, câmp electromagnetic.

Ecuațiile lui Maxwell prezic existența unor perturbații în câmpul electromagnetic asemănătoare cu undele, iar ele se propagă cu o viteză constantă, așa cum se deplasează undele de pe suprafața unui lac. Atunci când le-a calculat viteza, el a descoperit că ea coincide exact cu viteza luminii! Astăzi știm că undele lui Maxwell, atunci când au o lungime



LUNGIMEA DE UNDĂ
Lungimea de undă a unei unde este distanța dintre două creste sau văi succesive.

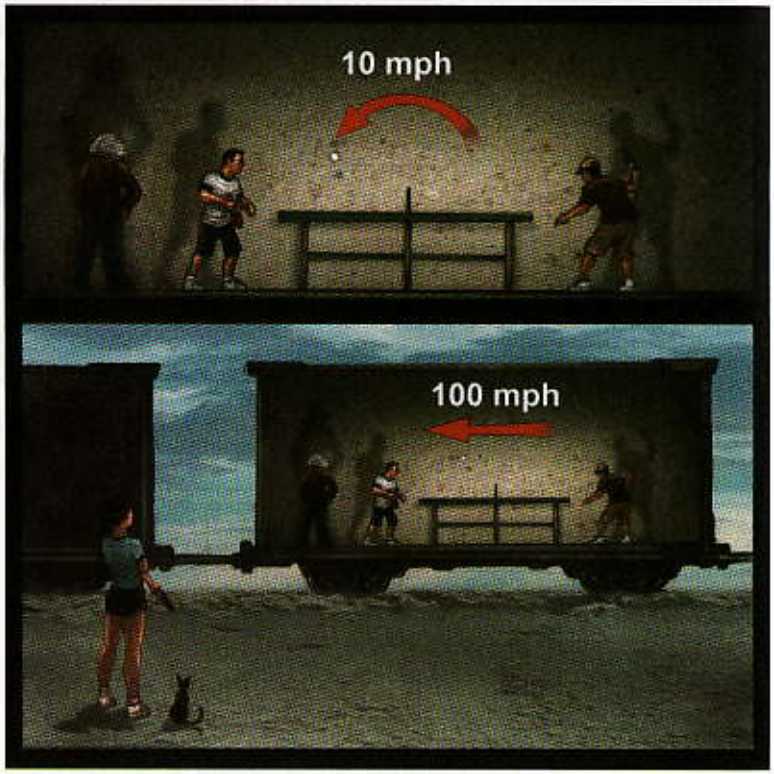
de undă cuprinsă între patruzeci și optzeci de milionimi de centimetru, sunt vizibile ochiului uman ca lumină. (O undă este o succesiune de creste și văi, iar lungimea de undă este distanța dintre două creste ori văi succesive.) Undele cu lungimi de undă mai mici decât cele ale luminii vizibile sunt cunoscute astăzi sub numele de lumină ultravioletă, raze X și raze gama. Undele cu lungimea de undă mai mare sunt numite unde radio (de un metru, sau mai mare), microunde (în jurul unui centimetru), sau radiație infraroșie (mai mică de-

cât a zecea mia parte dintr-un centimetru, dar mai mare decât aceea din spectrul vizibil).

Teoria lui Maxwell implică deplasarea undelor radio sau luminoase cu o anumită viteză fixă. Acest fapt era dificil de conciliat cu teoria lui Newton, potrivit căreia nu există un standard absolut al repausului, deoarece, dacă un astfel de standard nu există, nu poate exista un consens universal privind viteza unui corp. Pentru a înțelege de ce, imaginați-vă iarăși jucând ping-pong în tren. Dacă loviți mingea către locomotiva trenului cu o viteză pe care adversarul o măsoară ca fiind de zece mile pe oră, atunci vă veți aștepta ca un observator de pe peron să perceapă viteza mingii ca fiind de o sută de mile pe oră — zece fiind viteza mingii față de tren, plus nouăzeci, viteza cu care trenul se deplasează față de peron. Care este deci viteza mingii, zece sau nouăzeci de mile pe oră? Cum o veți defini — față de tren sau față de peron? Fără un standard absolut al repausului, nu se poate atribui mingii nici o viteză absolută. Se poate spune despre aceeași minge că are orice viteză, depinzând de sistemul de referință în care se măsoară viteza. După teoria lui Newton, același lucru se întâmplă și pentru lumină. Așadar, ce semnificație are faptul că în teoria lui Maxwell undele de lumină se deplasează cu o anumită viteză determinată?

Pentru a concilia teoria lui Maxwell cu legile lui Newton, s-a imaginat că ar exista o substanță numită eter care ar fi prezentă peste tot, chiar în vidul spațiului „gol". Ideea eterului prezenta o anumită atracție în plus pentru oamenii de știință, care simțeau că, așa cum undele de pe apă au nevoie de apă, iar undele sonore au nevoie de aer, undele de energie electromagnetică ar avea nevoie de un anumit mediu în care să se propage. În această perspectivă, undele de lumină se propagă prin eter, la fel cum undele sonore se propagă prin aer, iar „viteza" lor, așa cum a fost ea dedusă din ecuațiile lui Maxwell, trebuie prin urmare să fie măsurată față de eter. Diferiți observatori ar vedea lumina venind spre ei cu viteze diferite, dar viteza luminii față de eter ar rămâne fixă.

Această idee putea fi verificată. Închipuiți-vă lumina emisă de o anumită sursă. Conform teoriei eterului, lumina se propagă prin eter cu viteza luminii. Dacă vă veți deplasa prin eter către sursă, viteza cu care vă apropiați de lumină va fi suma dintre viteza luminii în eter și viteza cu care vă deplasați prin eter. Lumina se va apropia mai repede decât dacă, de exemplu, ați sta pe loc sau v-ați deplasa în altă direcție. Dar,



DIFERITE VITEZE ALE MINGII DE PING-PONG

Conform teoriei relativității, deși pot să se afle în dezacord, măsurătorile vitezei corpului efectuate de fiecare dintre observatori sunt egal valabile.

pentru că viteza luminii este atât de mare în comparație cu viteza cu care ne putem deplasa către sursa de lumină, această diferență de viteză era foarte dificil de măsurat.

În 1887, Albert Michelson (care, mai târziu, a devenit primul american laureat al Premiului Nobel pentru fizică) și Edward Morley au efectuat un experiment foarte dificil și precis la Școala Case de Știință Aplicată (acum, Universitatea Case Western Reserve) din Cleveland. Ei au înțeles că, dat fiind că Pământul orbitează în jurul Soarelui cu o viteză de aproape douăzeci de mile pe secundă, însuși laboratorul lor trebuie să se miște cu o viteză destul de mare prin eter. Desigur că nimeni nu știa în ce direcție sau cât de repede se putea mișca eterul față de Soare, sau dacă eterul se mișcă în vreun fel. Dar, repetând un experiment la diferite momente ale anului, când Pământul se află în diferite poziții de-a lungul orbitei sale, ei puteau spera să pună în evidență acest factor necunoscut. Astfel Michelson și Morley au pus la punct un experiment pentru a compara viteza luminii măsurată pe direcția mișcării Pământului prin eter (când ne mișcăm către sursa de lumină) cu viteza luminii măsurată la un unghi drept față de această direcție (când nu ne deplasăm către sursă). Spre marea lor surpriză, cei doi au găsit că viteza după cele două direcții este exact aceeași!

Între 1887 și 1905 s-au întreprins mai multe încercări de a salva teoria eterului. Cea mai notabilă dintre ele a aparținut fizicianului Hendrik Lorentz, care a încercat să explice rezultatul experienței lui Michelson și Morley cu ajutorul ipotezei contracției corpurilor și încetinirii ceasurilor la deplasarea lor prin eter. Dar, într-o faimoasă lucrare din 1905, un funcționar până atunci necunoscut al Biroului Elvețian de Brevete, Albert Einstein, a arătat că ideea eterului era complet inutilă de îndată ce se abandona noțiunea de timp absolut (și vom vedea imediat de ce). Câteva săptămâni mai târziu, un matematician francez de frunte, Henri Poincaré, a făcut o afirmație similară. Dar argumentele lui Einstein erau

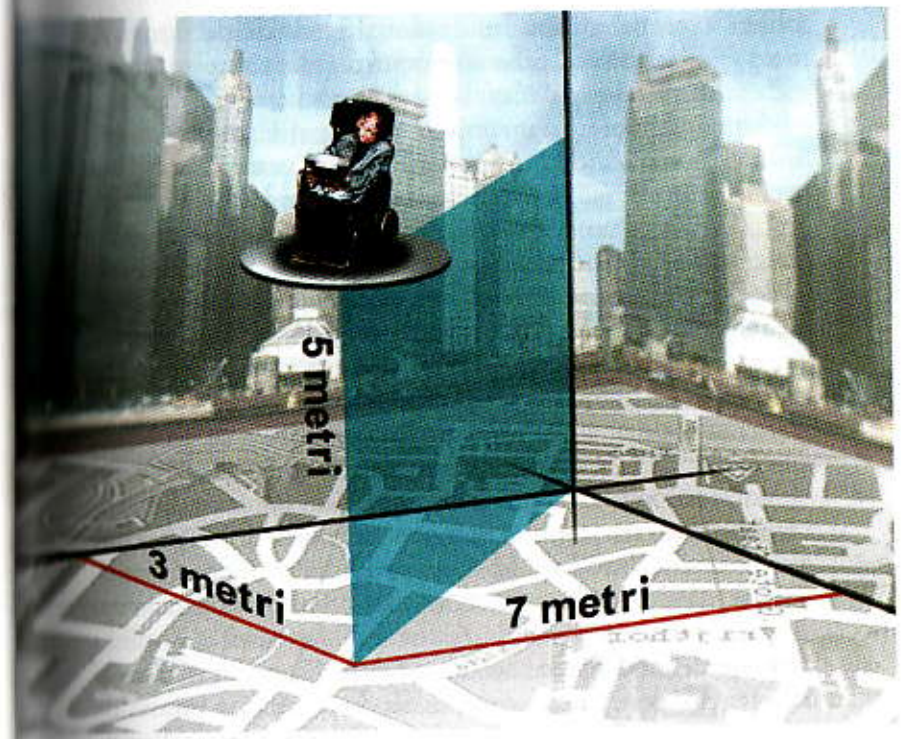
mai apropiate de fizică decât cele ale lui Poincaré, care privea problema ca fiind pur matematică și nu a acceptat niciodată interpretarea dată de Einstein teoriei.

Postulatul fundamental al teoriei relativității a lui Einstein, așa cum a fost numită aceasta, afirmă că legile științei trebuie să fie aceleași pentru toți observatorii care se mișcă liber*, indiferent de viteza lor. Faptul era valabil și pentru legile mișcării ale lui Newton, dar acum Einstein extindea ideea astfel încât să includă teoria lui Maxwell. Cu alte cuvinte, întrucât teoria lui Maxwell afirmă că viteza luminii are o valoare dată, toți observatorii aflați în mișcare trebuie să măsoare aceeași valoare, indiferent dacă se mișcă înspre sau dinspre sursa acesteia. Această idee simplă explică — fără folosirea eterului sau a oricărui alt sistem preferențial de referință — semnificația vitezei luminii din ecuațiile lui Maxwell, dar are și alte consecințe remarcabile și deseori contraintuitive.

De exemplu, cerința ca toți observatorii să obțină aceeași valoare pentru viteza luminii ne obligă să ne revizuim ideile despre timp. Închipuiți-vă din nou trenul deplasându-se. Am văzut în Capitolul 4 că, deși persoana din tren care lovește periodic mingea de ping-pong de sus în jos poate spune că mingea parcurge un drum de numai câțiva centimetri, cineva aflat pe peron ar percepe mingea ca parcurgând circa patruzeci de metri. În mod asemănător, dacă observatorul din tren ar aprinde o lampă de semnalizare, cei doi observatori nu s-ar putea pune de acord cu privire la drumul parcurs de lumină. Deoarece viteza este spațiul împărțit la timp, dacă observatorii nu se înțeleg cu privire la distanța parcursă de lumină, singura modalitate ca ei să se pună de acord cu privire la viteza luminii este ca să nu se înțeleagă nici asupra timpului cât lumina călătorește. Cu alte cuvinte, teoria relativității ne cere să punem capăt ideii de timp absolut! În locul acestuia, fiecare observator trebuie să aibă propria sa măsură a timpului, așa cum este el înregistrat de un ceas purtat cu sine; ceasurile identice, purtate de observatori diferiți, nu trebuie să fie sincrone.

Nu este nevoie să se introducă în relativitate noțiunea de eter, deoarece, așa cum a arătat experimentul lui Michelson și Morley, eterul nu poate fi detectat. În locul lui, teoria ne

* În mișcare uniformă și rectilinie. (*N. t.*).



COORDONATE ÎN SPAȚIU

Atunci când spunem că spațiul are trei dimensiuni, înțelegem prin aceasta că este nevoie de trei numere, sau *coordonate*, pentru a indica poziția unui punct. Dacă descrierii noastre îi adăugăm timpul, atunci spațiul devine spațiul-timp cu patru dimensiuni.

obligă să ne schimbăm fundamental ideile despre spațiu și timp. Trebuie să acceptăm că timpul nu este complet separat de spațiu și independent față de acesta, ci este combinat cu el, formând împreună un obiect numit spațiul-timp. Acestea nu sunt idei ușor de priceput. Chiar și în comunitatea fizicienilor au trebuit să treacă ani buni pentru ca relativitatea să fie universal acceptată. Acceptarea ei este un elogiu adus imaginației lui Einstein care a conceput-o și încrederii sale în logica proprie pe care a dus-o până la ultimele consecințe, în pofida concluziilor ciudate către care conduceau ele.

Faptul că noi putem să descriem poziția unui punct în spațiu cu ajutorul a trei numere, numite coordonate, ține de experiența cotidiană. De exemplu, putem afirma că un punct dintr-o încăpere se află la șapte metri de un perete, la trei metri de alt perete și la cinci metri de podea. Sau putem indica poziția unui punct printr-o anumită latitudine și longitudine și o anumită altitudine deasupra nivelului mării. Suntem liberi să folosim oricare trei coordonate, deși ele au doar o validitate limitată. N-ar fi practic să indicăm poziția Lunii în termeni de mile la nord sau la sud de la Piccadilly Circus și de picioare desupra nivelului mării. În schimb, o putem da în termenii distanței sale față de Soare, față de planul orbitelor planetare și de unghiul dintre linia care unește Luna cu Soarele și linia care unește Soarele cu o stea vecină cum ar fi Proxima Centauri. Nici aceste coordonate nu ne vor fi de prea mare folos pentru a descrie poziția Soarelui în galaxia noastră, sau poziția galaxiei noastre în grupul local de galaxii. În realitate, putem descrie întregul univers în termenii unor petice care se acoperă. În fiecare petic, putem folosi un set diferit de trei coordonate pentru a indica poziția unui punct.

În spațiul-timp al relativității, fiecare eveniment — adică orice se petrece într-un anumit loc din spațiu și într-un anumit moment de timp — poate fi indicat prin *patru* numere, sau coordonate. Din nou, alegerea coordonatelor este arbitrară: putem folosi oricare coordonate spațiale bine definite și orice măsură a timpului. Dar, în relativitate, nu există vreo distincție reală între coordonatele de spațiu și timp, exact așa cum nu există vreo diferență reală între oricare două dintre coordonatele spațiale. Am putea alege un nou set de coordonate în care, de exemplu, prima coordonată spațială să fie o combinație a primei și a celei de-a doua coordonate spațiale din vechiul sistem. Asfel, în loc de a măsura poziția unui punct de pe Pământ în mile nord față de Piccadilly și mile vest față de Piccadilly, putem folosi mile nord-est față de Piccadilly și mile nord-vest de Piccadilly. În mod analog, am putea folosi o nouă coordonată temporală, care să fie vechiul timp (în secunde), plus distanța (în secunde-lumină) nord de Piccadilly.

O altă consecință bine cunoscută a teoriei relativității este echivalența masei și energiei, rezumată în celebra formulă a lui Einstein $E = mc^2$ (unde E este energia, m este masa, iar c viteza luminii). Oamenii folosesc deseori această formulă pentru a calcula câtă energie s-ar produce dacă un fragment de materie ar fi convertit în radiație electromagnetică pură. (Datorită faptului că viteza luminii este un număr mare, rezultatul este și el mare — masa materiei convertite în energie în bomba care a distrus Hiroshima a fost mai mică decât o uncie*.) Dar formula ne mai spune și că dacă energia unui corp crește, atunci și masa lui crește, adică se mărește rezistența sa la accelerare, sau la modificarea vitezei sale.

O formă de energie este energia de mișcare, numită energie cinetică. Exact așa cum, pentru a pune în mișcare mașina dumneavoastră, se consumă energie, se consumă energie pentru a crește viteza oricărui corp. Energia cinetică a unui corp în mișcare este identic egală cu energia pe care trebuie s-o cheltuiți pentru a-l face să se miște. Prin urmare, cu cât un corp se mișcă mai repede, cu atât posedă mai multă energie cinetică. Dar, în conformitate cu echivalența energiei și

* O uncie are 28,35 g. (*N. t.*)

a masei, energia cinetică crește masa corpului, astfel că, pe măsură ce corpul se mișcă tot mai repede, este tot mai greu să i se mărească în continuare viteza.

Acest efect este cu adevărat semnificativ numai pentru corpuri care se deplasează cu viteze apropiate de viteza luminii. De exemplu, la 10 procente din viteza luminii, masa unui corp este cu numai 0,5 procente mai mare decât masa normală, în timp ce, la 90 la sută din viteza luminii, masa corpului respectiv este mai mult decât dublul masei sale normale. Pe măsură ce un corp se apropie de viteza luminii, masa lui crește și mai repede, astfel că, pentru a-i mări viteza în continuare, este nevoie de tot mai multă energie. Conform teoriei relativității, un corp nu poate atinge niciodată viteza luminii, deoarece astfel masa lui ar deveni infinită, iar, datorită echivalenței dintre masă și energie, ar fi nevoie de o energie infinită pentru a ajunge aici. Acesta este și motivul pentru care orice corp normal este constrâns de relativitate să se miște mereu la viteze mai mici decât viteza luminii. Numai lumina, sau alte unde care nu posedă masă intrinsecă, se pot propaga cu viteza luminii.

Teoria lui Einstein din 1905 e numită teoria restrânsă a relativității. Motivul este că, deși ea a explicat cu mare succes că viteza luminii este aceeași pentru toți observatorii, arătând și ce se întâmplă atunci când corpurile se deplasează cu viteze apropiate de viteza luminii, ea este în dezacord cu teoria newtoniană a gravitației. Teoria lui Newton spune că, în orice moment, corpurile sunt atrase unul către celălalt cu o forță care depinde de distanța dintre corpuri din momentul respectiv. Aceasta înseamnă că, dacă ați muta unul dintre corpuri, forța exercitată asupra celuilalt s-ar schimba instantaneu. Dacă, de exemplu, Soarele ar dispărea brusc, teoria lui Maxwell ne spune că Pământul nu ar rămâne în întuneric decât după circa opt minute (deoarece atât timp îi trebuie luminii de la Soare ca să ne ajungă) dar, conform gravitației newtoniene, Pământul ar înceta imediat să simtă atracția Soarelui și ar scăpa din orbită. Efectul gravitațional al dispariției Soarelui ar ajunge cu o viteză infinită, nu cu viteza luminii sau una inferioară acesteia, așa cum cere teoria restrânsă a relativității. Între 1908 și 1914, Einstein a făcut un număr de tentative nereușite pentru a găsi o teorie a gravitației care să fie în acord cu relativitatea restrânsă. În cele din urmă, în 1915, el a propus o teorie chiar mai revoluționară, pe care astăzi o numim teoria generală a relativității*.

* Cele două teorii einsteiniene au și denumiri prescurtate: relativitatea restrânsă și relativitatea generală. Aceste denumiri vor fi folosite urmându-l pe autor. (*N. t.*)

6
Spațiul curb

Teoria generală a relativității a lui Einstein se bazează pe ideea revoluționară că gravitația nu este o forță ca oricare alta, ci o consecință a faptului că spațiul-timp nu este plat, așa cum se presupunea până atunci. În relativitatea generală, spațiul-timp este curbat, sau „strâmbat" de distribuția masei și energiei prezente acolo. Nu forța numită gravitație obligă corpurile cum ar fi Pământul să se miște pe orbite curbe; corpurile se mișcă pe orbite curbe deoarece ele urmează în spațiul curb cea mai apropiată traiectorie față de linia dreaptă, parcurs numit geodezică. Din punct de vedere tehnic, o geodezică este definită ca fiind cel mai scurt (sau cel mai lung) parcurs între două puncte vecine.

Planul din geometrie reprezintă un exemplu de spațiu bidimensional plat, în care geodezicele sunt linii drepte. Suprafața Pământului este un spațiu bidimensional curb. O geodezică pe Pământ este numită cerc mare. Ecuatorul, de pildă, este un cerc mare. Tot cerc mare este orice alt cerc de pe glob al cărui centru coincide cu centrul Pământului. (Termenul de „cerc mare" provine de la faptul că aceste cercuri sunt cele mai mari pe care le puteți desena pe un glob.) Deoarece geodezica este cea mai scurtă cale între două aeroporturi, aceasta este ruta pe care navigatorul o va indica pilotului pentru a zbura de-a lungul ei. De exemplu, veți putea zbura de la New York la Madrid, urmărind cap compas direct către est, parcurgând 3 707 mile de-a lungul latitudinii comune. Dar puteți ajunge acolo după numai 3 605 mile, dacă zburați de-a lungul unui cerc mare, mai întâi către nord-est, apoi cotind treptat către est, după care către sud-est. Imaginea acestor două traiectorii pe o hartă în care suprafața globului a fost distorsionată (aplatizată), este înșelătoare. Atunci când vă depla-

DISTANȚA CEA MAI SCURTĂ PE GLOB

Distanța cea mai scurtă dintre două puncte de pe glob este aceea de-a lungul unui cerc mare, traiectorie care, dacă o priviți pe o hartă plană, nu corespunde cu o linie dreaptă.

saţi „drept" către est, nu vă deplasaţi realmente drept, cel puţin în sensul celui mai drept parcurs, care este geodezica.

În relativitatea generală, corpurile se deplasează urmând totdeauna geodezice din spaţiul-timp cvadridimensional. În absenţa materiei, geodezicele din spaţiul-timp cvadridimensional corespund liniilor drepte din spaţiul tridimensional. În prezenţa materiei, spaţiul-timp cvadridimensional este distorsionat, determinând curbarea traiectoriilor corpurilor

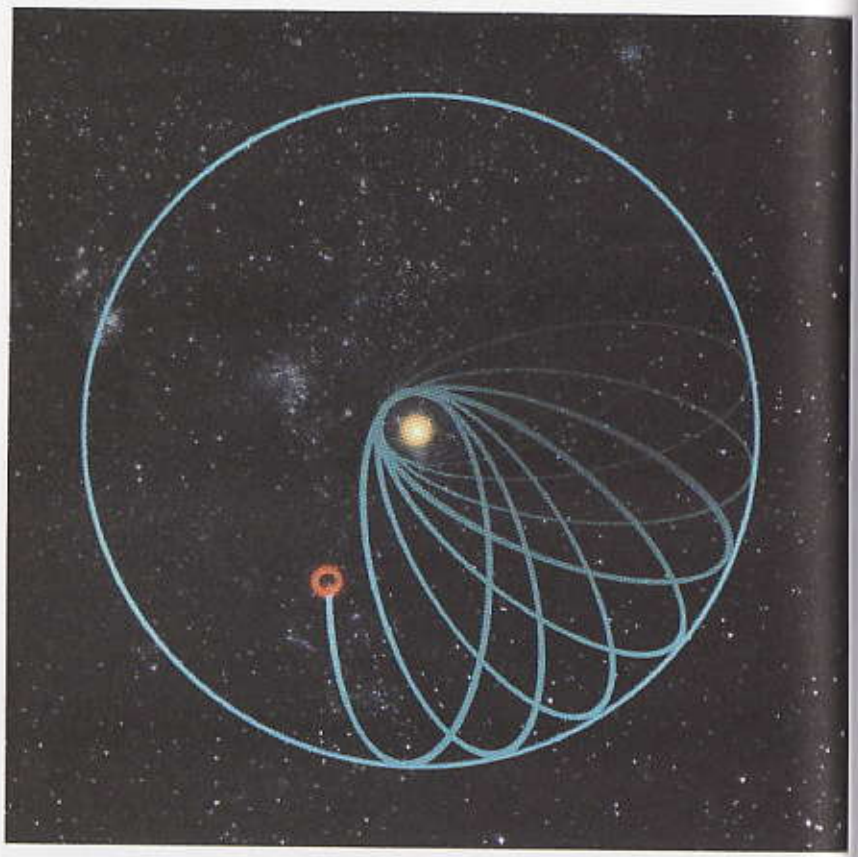
TRAIECTORIA UMBREI UNEI NAVE SPAŢIALE

Proiectată pe globul bidimensional, traiectoria unei nave zburând în spaţiu în linie dreaptă apare curbată.

din spaţiul tridimensional, în modul în care acestea erau explicate de vechea teorie a gravitaţiei a lui Newton ca fiind efectul atracţiei gravitaţionale. Este ca şi când ai observa un avion zburând deasupra unui sol deluros. Aeronava se poate mişca în linie dreaptă în spaţiul tridimensional, dar înlăturaţi cea de-a treia dimensiune — înălţimea — şi veţi descoperi că umbra aeronavei are un parcurs curb pe solul deluros bidimensional. Sau imaginaţi-vă un vehicul cosmic care zboară în linie dreaptă prin spaţiu trecând direct peste Polul Nord. Proiectaţi-i traiectoria pe suprafaţa bidimensională a Pământului şi veţi vedea că aceasta urmează un semicerc, trasând o linie de longitudine peste emisfera nordică. Deşi fenomenul este mai greu de reprezentat, masa Soarelui curbează spaţiul-timp astfel că, deşi Pământul urmează o traiectorie rectilinie în spaţiul-timp cvadridimensional, în spaţiul tridimensional el ne apare ca mişcându-se de-a lungul unei orbite circulare.

Deşi deduse în mod diferit, orbitele planetelor prezise de teoria generală a relativităţii sunt aproape exact aceleaşi cu orbitele prezise de teoria newtoniană a gravitaţiei. Cea mai mare diferenţă se constată în cazul orbitei lui Mercur, care, fiind planeta cea mai apropiată de Soare, resimte cele mai puternice influenţe gravitaţionale, având o orbită eliptică destul de alungită. Relativitatea generală prezice că axa mare a elipsei trebuie să se rotească în raport cu Soarele cu circa un grad la zece mii de ani. Oricât este el de mic, acest efect a fost observat (vezi Capitolul 3) cu mult înainte de 1915 şi a fost folosit ca una dintre primele confirmări ale teoriei lui Einstein. În anii din urmă, cu ajutorul radarului, au fost măsurate până şi deviaţiile mai mici ale orbitelor altor planete de la prezicerile lui Newton, rezultatele fiind în acord cu predicţiile relativităţii generale.

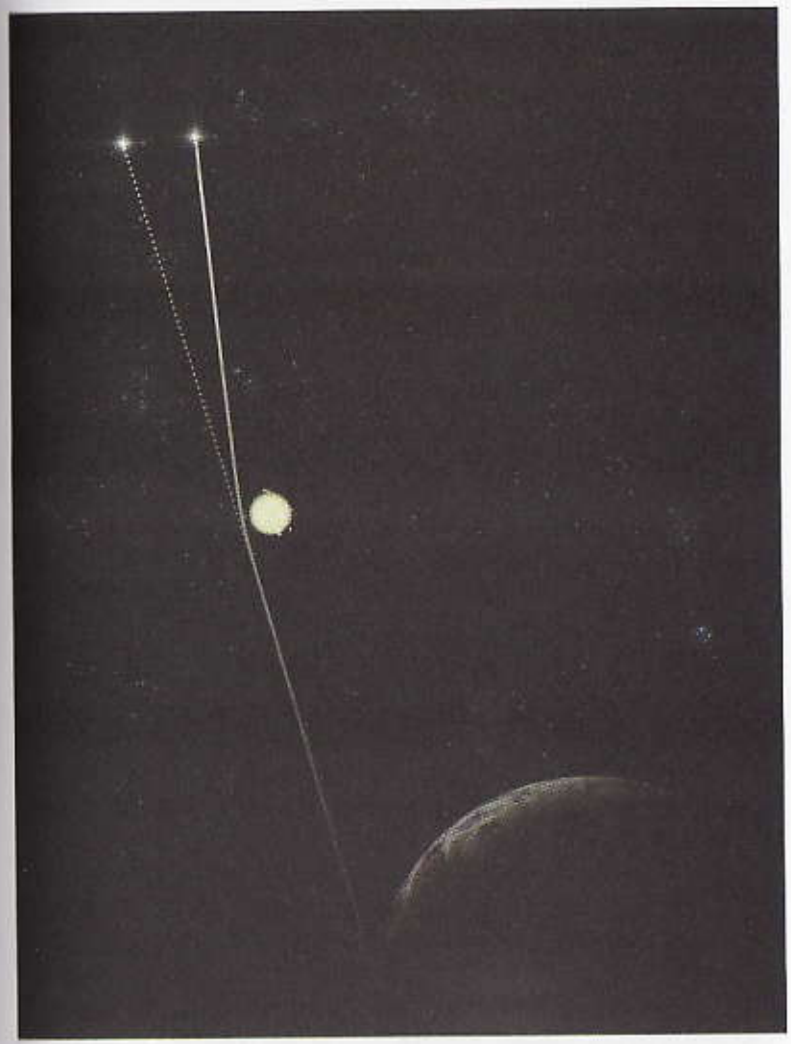
Razele de lumină trebuie să urmeze parcursuri geodezice în spaţiul-timp. Din nou, faptul că spaţiul este curb înseamnă că lumina nu mai apare ca propagându-se în linie dreaptă în spaţiu, întrucât, conform relativităţii generale, câm-



PRECESIA ORBITEI LUI MERCUR

Pe măsură ce Mercur orbitează în jurul Soarelui, axa mare a traiectoriei sale eliptice se rotește încet, parcurgând un cerc complet o dată la aproximativ 360 000 de ani.

pul gravitațional trebuie să îndoaie raza de lumină. De exemplu, teoria prezice că parcursul razelor de lumină pe lângă Soare trebuie să se curbeze ușor către înăuntru, din cauza masei Soarelui. Aceasta înseamnă că lumina de la o stea înde-



CURBAREA LUMINII PE LÂNGĂ SOARE

Atunci când Soarele se află aproape direct între Pământ și o stea îndepărtată, câmpul gravitațional solar deviază lumina stelei, alterându-i poziția relativă.

părtată care se întâmplă să treacă pe lângă Soare va fi deviată cu un mic unghi, făcând ca, pentru un observator de pe Pământ, steaua să apară într-o poziție schimbată. Desigur, dacă lumina de la stea ar trece tot timpul pe lângă Soare, noi nu am putea ști dacă lumina a fost deviată sau dacă steaua a fost cu adevărat acolo unde o vedem. Dar, datorită faptului că Pământul orbitează în jurul Soarelui, diferite stele se văd trecând în spatele Soarelui și, ca atare, lumina lor e deviată. Ele își schimbă așadar poziția relativă față de alte stele.

În mod normal, acest efect este foarte dificil de observat, deoarece lumina Soarelui face imposibil de văzut stelele care apar pe cer aproape de Soare. Totuși, acest lucru devine posibil în timpul unei eclipse de Soare, când Luna blochează lumina solară. Predicția lui Einstein privind devierea luminii nu a putut fi verificată imediat în 1915, din cauza Primului Război Mondial. Abia în 1919 o expediție britanică, observând o eclipsă de pe coasta Africii de Vest, a arătat că lumina este cu adevărat deviată de Soare, exact așa cum prezisese teoria. Această confirmare a unei teorii germane de către oameni de știință britanici a fost salutată ca un mare act de reconciliere între două țări care se aflaseră în război. Ironia face însă ca examinarea ulterioară a fotografiilor luate în timpul acestei expediții să arate că erorile erau la fel de mari ca efectul pe care astronomii voiau să-l măsoare. Măsurătoarea fusese un pur noroc sau un caz în care, cunoscând rezultatul, astronomii au dorit mult să-l obțină — întâmplare deloc ieșită din comun în știință. Devierea luminii a fost, totuși, confirmată precis de un număr de observații ulterioare.

O altă predicție a relativității generale este încetinirea scurgerii timpului lângă un corp masiv, cum este Pământul. Einstein a înțeles pentru prima oară acest lucru în 1907, cu cinci ani înainte de a-și da seama că gravitația alterează de asemenea forma spațiului și cu opt ani înainte de a-și desăvârși teoria. El a dedus acest efect folosind principiul echivalenței, formulat tot de el, principiu care a jucat în relativitatea generală același rol pe care l-a jucat postulatul fundamental în relativitatea restrânsă.

Vă reamintesc acum că postulatul fundamental al relativității restrânse afirmă că legile științei trebuie să fie aceleași pentru toți observatorii aflați în mișcare rectilinie și uniformă, indiferent de viteza cu care ei se deplasează. În linii mari, principiul echivalenței extinde toate acestea la observatorii care nu se mișcă liber, ci sub influența unui câmp gravitațional. Într-o formulare mai riguroasă a principiului, există câteva aspecte tehnice, cum ar fi faptul că, în cazul în care câmpul gravitațional nu ar fi uniform, principiul va trebui aplicat separat într-o serie de porțiuni mici, parțial suprapuse — dar nu vom intra aici în aceste detalii. Pentru scopurile noastre, putem formula principiul în modul următor: în regiuni suficient de mici ale spațiului este imposibil de spus dacă vă aflați în repaus într-un câmp gravitațional sau în mișcare uniform accelerată în spațiul gol.

Imaginați-vă că vă aflați într-un lift situat în spațiul gol. Nu există gravitație, nici noțiunile de „sus" sau „jos". Zburați liber. La un moment dat, liftul pornește în mișcare uniform accelerată. Imediat veți simți greutatea. Adică vă veți simți tras către un capăt al liftului, care va juca brusc rolul de podea! Dacă ați avea un măr în mână și i-ați da drumul, mărul va cădea pe podea. În realitate, acum, sub influența accelerației, totul se petrece ca și când liftul nu s-ar mișca deloc, ci s-ar afla în repaus într-un câmp gravitațional uniform. Einstein și-a dat seama că, după cum atunci când te afli într-un tren nu poți ști dacă te miști uniform sau ești în repaus, la fel și atunci când te afli într-un lift e imposibil să spui dacă te miști uniform accelerat sau te găsești într-un câmp gravitațional uniform. Rezultatul a fost principiul echivalenței.

Principiul echivalenței și exemplificarea lui de mai sus sunt valabile numai dacă masa inerțială (masa din cea de-a doua lege a lui Newton, care determină cât de mult sunteți accelerați ca răspuns la o forță) și masa gravitațională (masa din legea gravitației a lui Newton, care determină cât de multă

forță gravitațională resimțiți) sunt unul și același lucru (vezi Capitolul 4). Aceasta deoarece, dacă cele două tipuri de masă sunt identice, atunci toate corpurile dintr-un câmp gravitațional vor cădea cu aceeași accelerație, indiferent de masa lor. Dacă această echivalență nu ar fi adevărată, atunci, sub influența gravitației, unele corpuri ar cădea mai repede decât altele, ceea ce înseamnă că ați putea face deosebirea între atracția gravitațională și accelerația uniformă, în care totul cade în același ritm. Folosirea de către Einstein a echivalenței dintre masa inerțială și cea gravitațională pentru deducerea principiului său de echivalență și, în cele din urmă, a întregii relativități generale, ține de mersul implacabil al raționamentelor sale logice, fără egal în istoria gândirii umane.

Acum, odată ce cunoaștem principiul echivalenței, putem începe urmărirea logicii einsteiniene efectuând un alt experiment mintal care ne arată de ce gravitația afectează timpul. Să ne imaginăm o navă cosmică în spațiu. Să ne închipuim de asemenea că nava este atât de mare încât lumina are nevoie de o secundă pentru a o traversa de sus până jos. În sfârșit, să presupunem că există un observator pe tavanul navei și un altul pe podea, având ceasuri identice, care ticăie o dată pe secundă.

Să presupunem că observatorul de pe tavan așteaptă ceasul să ticăie și, imediat, trimite în jos un semnal luminos către observatorul de pe podea. Observatorul de pe tavan repetă operația la următorul ticăit al ceasului. Conform acestui aranjament, fiecare semnal se propagă timp de o secundă, fiind apoi recepționat de observatorul de pe podea. Deci, așa cum observatorul de pe tavan trimite două semnale separate între ele de o secundă, observatorul de pe podea primește tot două semnale, la o secundă unul după celălalt.

Cum se va deosebi acest scenariu dacă nava ar staționa pe Pământ, sub influența gravitației, în loc să plutească liber prin spațiu? După teoria lui Newton, gravitația nu are în acest caz nici o influență. Dacă observatorul de pe tavan trimite

semnale la interval de o secundă, observatorul de pe podea le va recepționa la interval de o secundă. Dar principiul echivalenței nu conduce la aceeași predicție. Putem vedea ce se întâmplă, ne spune acest principiu, considerând, în locul efectului gravitației, efectul accelerației uniforme. Acesta este un exemplu al modului în care a folosit Einstein principiul echivalenței pentru a-și elabora noua teorie despre gravitație.

Așadar, să presupunem acum că nava spațială accelerează. (Ne vom închipui că accelerează lent, astfel încât să nu se apropie de viteza luminii!). Deoarece nava se deplasează în sus, primul semnal va avea de parcurs o distanță mai mică și va ajunge la podea într-un timp mai scurt decât o secundă. Dacă nava s-ar fi deplasat cu o viteză constantă, cel de-al doilea semnal ar fi ajuns exact cu același timp mai devreme decât primul, astfel că intervalul dintre două semnale ar rămâne de o secundă. Dar, datorită accelerației, nava se va mișca mai rapid atunci când este emis cel de-al doilea semnal, decât atunci când a fost emis primul semnal, astfel că al doilea semnal va avea de parcurs o distanță mai mică decât prima și va ajunge într-un timp și mai scurt. Observatorul de pe podea va măsura prin urmare un interval mai mic decât o secundă între două semnale, fiind în dezacord cu cel de pe tavan, care pretinde că a transmis semnalele exact la interval de o secundă.

Probabil că acest fapt nu este uimitor în cazul navei care accelerează — de fapt, n-am făcut decât să-l explicăm! Dar, amintiți-vă că principiul echivalenței spune că el se aplică și unei nave în repaus aflată în câmp gravitațional. Aceasta înseamnă că și dacă nava nu accelerează, ci se află de pildă pe rampa de lansare de la suprafața Pământului, iar observatorul de pe tavan trimite semnale către podea la intervale de o secundă (conform ceasului propriu), observatorul de pe podea va recepționa semnalele la intervale mai scurte (conform propriului său ceas). Iar acest fapt *este* uimitor!

V-ați putea întreba dacă asta înseamnă că gravitația modifică timpul sau nu face decât să strice ceasurile. Să presu-

punem că observatorul de pe podea urcă la cel din tavan și cei doi parteneri își compară ceasurile. Acestea sunt ceasuri identice și cu siguranță, în această situație, ei vor cădea de acord cu privire la durata unei secunde. Nu e nimic în neregulă cu ceasul observatorului de pe podea; el măsoară scurgerea locală a timpului oriunde s-ar afla. Astfel, așa cum relativitatea restrânsă ne spune că timpul se scurge diferit pentru observatorii aflați în mișcare relativă, relativitatea generală ne spune că timpul se scurge diferit pentru observatorii aflați la diferite înălțimi într-un câmp gravitațional. Conform relativității generale, observatorul de pe podea a măsurat mai puțin de o secundă între semnale, deoarece timpul se scurge mai încet în apropierea suprafeței Pământului. Cu cât este mai puternic câmpul, cu atât mai mare este efectul. Legile lui Newton au pus capăt ideii de poziție absolută în spațiu. Vedem acum că teoria relativității s-a debarasat de timpul absolut.

Această predicție a fost verificată în 1962, folosind două ceasuri foarte precise așezate la vârful și la baza unui turn de apă. Ceasul de la bază, care era mai aproape de Pământ, s-a dovedit mai lent, în acord perfect cu relativitatea generală. Acest efect este unul mic — un ceas de pe suprafața Soarelui ar câștiga doar circa un minut pe an în comparație cu ceasul de pe suprafața Pământului. Dar, odată cu apariția unor sisteme de navigație foarte precise bazate pe semnale de la sateliți, diferența de ritm dintre ceasurile aflate la diverse înălțimi deasupra Pământului are acum o considerabilă importanță practică. Ignorând predicțiile relativității generale, poziția pe care o calculați ar fi greșită cu câteva mile!

Ceasurile noastre biologice sunt și ele afectate de aceste schimbări în scurgerea timpului. Să considerăm o pereche de gemeni. Să presupunem că unul dintre ei se duce să trăiască pe vârful unui munte, în timp ce celălalt rămâne la nivelul mării. Primul frate geamăn va îmbătrâni mai repede decât cel de-al doilea. Atunci când ei se vor întâlni din nou, unul dintre ei va fi mai bătrân decât celălalt. În acest caz, diferența de vârstă este

foarte mică, dar ea ar putea fi mult mai mare dacă unul dintre gemeni ar fi pornit într-o lungă călătorie, în care să fi accelerat până aproape de viteza luminii. La întoarcere, el ar fi cu mult mai tânăr decât fratele său rămas pe Pământ. Acesta este cunoscutul paradox al gemenilor, care este paradox numai dacă păstrați în subconștient ideea de timp absolut. În teoria relativității nu mai există un timp unic absolut; în schimb, fiecare individ are propria sa măsură personală a timpului, care depinde de locul în care se află și de modul în care se mișcă el.

Înainte de 1915, spațiul și timpul erau concepute ca o scenă fixă pe care aveau loc evenimente de care însă scena nu era influențată. Acest lucru rămânea valabil chiar și în teoria restrânsă a relativității. Corpurile se mișcau, forțele atrăgeau sau respingeau, dar timpul și spațiul pur și simplu continuau să fie neafectate. Era firesc să se creadă că spațiul și timpul sunt veșnice. În teoria generală a relativității, situația este foarte diferită. Spațiul și timpul sunt aici cantități dinamice: atunci când un corp se mișcă sau o forță acționează acest lucru afectează curbura spațiului și timpului — iar, la rândul ei, structura spațiului-timp afectează modul în care se deplasează corpurile și în care forțele acționează. Spațiul și timpul nu numai că afectează, dar sunt și afectate de tot ce se întâmplă în univers. Exact cum nu putem vorbi despre evenimente din univers fără noțiunile de spațiu și timp, la fel, în relativitatea generală, a devenit lipsit de sens să vorbim despre spațiu și timp în afara limitelor universului. În deceniile care au urmat anului 1915, această nouă percepție a spațiului și timpului avea să revoluționeze imaginea noastră despre univers. Așa cum vom vedea, vechea idee despre un univers în esență neschimbător, care a putut exista dintotdeauna și care ar putea să-și continue existența pentru totdeauna, a fost înlocuită cu noțiunea de univers dinamic, în expansiune, care pare să se fi ivit în urmă cu un timp finit și care s-ar putea să sfârșească în viitor, într-un timp finit.

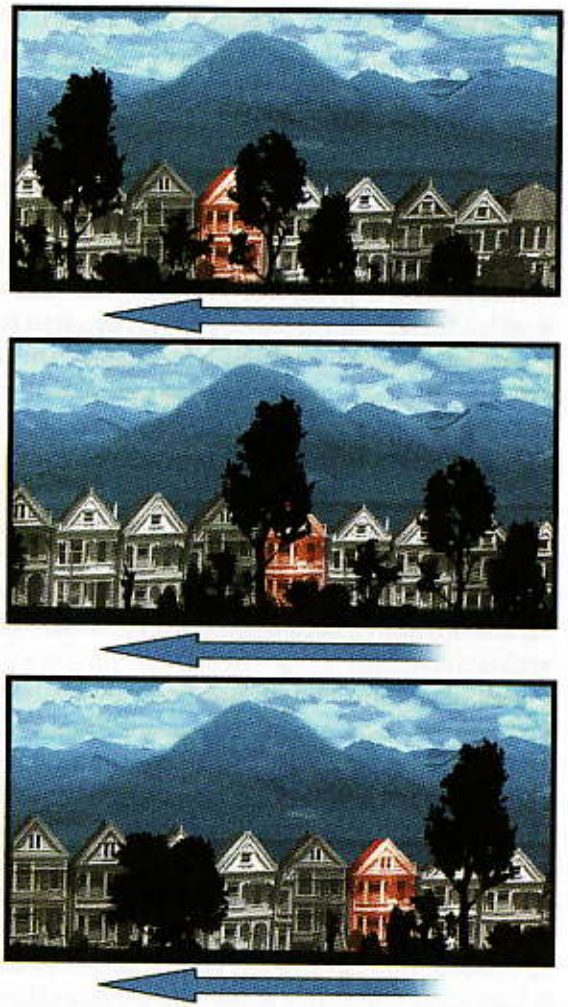
7
Universul în expansiune

Dacă veți privi cerul într-o noapte senină, fără lună, obiectele cele mai strălucitoare pe care le veți vedea vor fi — cel mai probabil — Venus, Marte, Jupiter și Saturn. Vor mai fi acolo și numeroase stele, care sunt întocmai ca Soarele nostru, dar mult mai îndepărtate. Unele dintre aceste stele fixe par să-și schimbe foarte puțin pozițiile una față de alta, pe măsură ce Pământul orbitează în jurul Soarelui. Dar, în realitate, stelele nu sunt deloc mobile! Ni se pare că se mișcă pentru că se află relativ aproape de noi. Pe măsură ce Pământul se deplasează în jurul Soarelui, noi vedem stelele mai apropiate din poziții diferite în raport cu fundalul stelelor mai depărtate. Este același efect care se produce atunci când rulați pe un drum deschis, unde vedeți că pozițiile relative ale arborilor apropiați par să se schimbe pe fondul peisajului care vă apare la orizont. Cu cât sunt mai aproape arborii, cu atât par ei să se miște mai mult. Această schimbare în poziția relativă se numește paralaxă. (Vezi ilustrația de la p. 60.) În cazul stelelor, existența paralaxei constituie o șansă, deoarece ne permite să măsurăm direct distanța la care se află stelele față de Pământ.

Așa cum am menționat în Capitolul 1, cea mai apropiată stea, Proxima Centauri, se află la o distanță de circa patru ani-lumină, adică la douăzeci și trei de milioane de milioane de mile. Majoritatea celorlalte stele vizibile cu ochiul liber se află la mai puțin de câteva sute de ani-lumină distanță. Pentru comparație, Soarele se găsește la o distanță de aproape

opt minute-lumină față de noi! Stelele vizibile apar răspândite pe tot cerul nocturn, dar sunt concentrate cu deosebire într-o fâșie pe care o numim Calea Lactee. Pe la 1750 unii astronomi au sugerat că înfățișarea Căii Lactee poate fi explicată dacă majoritatea stelelor vizibile ar fi situate într-o configurație în formă de disc, un exemplu pentru ceea ce numim acum galaxie spirală. Doar câteva decenii mai târziu, astronomul Sir William Herschel a confirmat această idee prin catalogarea minuțioasă a pozițiilor și distanțelor unui mare număr de stele. Această idee și-a dobândit recunoașterea completă abia în prima parte a secolului XX. Acum știm că galaxia noastră, Calea Lactee, are un diametru de circa o sută de ani-lumină și se rotește lent; stelele din brațele ei în formă de spirale orbitează în jurul centrului o dată la câteva sute de milioane de ani. Soarele nostru nu este decât o stea obișnuită, de dimensiuni mijlocii și de culoare galbenă, situată aproape de marginea interioară a unuia dintre brațele spirale ale galaxiei. Am străbătut, desigur, o cale lungă de la Aristotel și Ptolemeu, din vremea în care se credea că Pământul este centrul universului!

Imaginea noastră modernă despre univers datează doar din 1924, an în care astronomul american Edwin Hubble a demonstrat că galaxia noastră, Calea Lactee, nu este singura galaxie din univers. El a descoperit multe altele, cu vaste spații goale între ele. Pentru a dovedi acest lucru, Hubble a trebuit să determine distanțele de la Pământ la celelalte galaxii. Dar aceste galaxii sunt atât de îndepărtate încât, spre deosebire de stelele apropiate, pozițiile lor apar cu adevărat fixe. Deoarece Hubble nu putea folosi pentru aceste galaxii metoda paralaxei ca să determine distanțele până la ele, el a fost obligat să folosească metode indirecte. Una dintre metodele firești de a măsura distanța până la stea e strălucirea acesteia. Dar strălucirea aparentă a unei stele depinde nu numai de distanța până la ea, ci și de cantitatea de radiație emisă (luminozitatea ei). O stea palidă, dar destul de apropiată, va lumina



PARALAXA

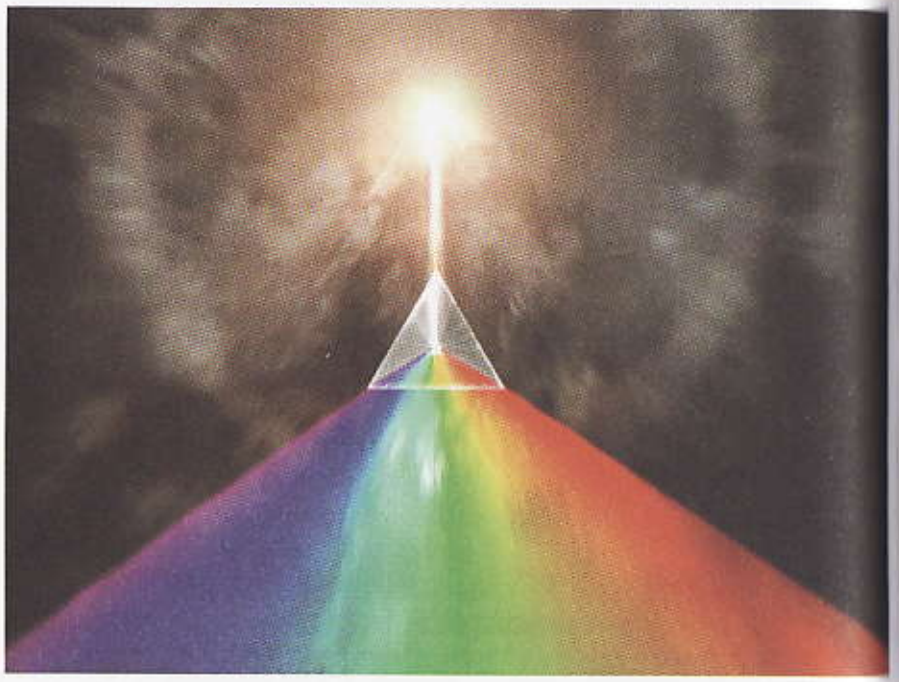
Fie că vă deplasați de-a lungul unui drum, fie prin spațiu, poziția relativă a obiectelor mai apropiate sau mai depărtate se schimbă pe măsură ce vă mișcați. Măsura schimbării poate fi folosită pentru determinarea distanței până la aceste obiecte.

mai puternic decât orice stea din orice galaxie îndepărtată. Deci, pentru a folosi strălucirea aparentă ca pe o măsură a distanței, trebuie să-i cunoaștem luminozitatea.

Luminozitatea stelelor apropiate poate fi calculată din strălucirea lor aparentă deoarece paralaxele lor ne permit să aflăm distanțele. Hubble a observat că aceste stele apropiate pot fi clasificate după tipul de lumină pe care o emit. Același tip de stele emite întotdeauna același tip de lumină. Apoi, el a susținut că, dacă găsim aceste tipuri de stele într-o galaxie îndepărtată, putem deduce că ele au acolo aceeași luminozitate ca și stelele apropiate. Cu această informație, putem calcula distanța până la galaxia respectivă. Dacă putem proceda astfel pentru un număr de stele din aceeași galaxie și dacă toate calculele noastre dau mereu aceeași distanță, putem fi destul de încrezători în estimările făcute. Astfel, Hubble a determinat distanțele până la nouă galaxii.

Astăzi știm că stelele vizibile cu ochiul liber alcătuiesc doar o fracțiune infimă din totalul stelelor. Putem zări circa cinci mii de stele, adică doar circa 0,0001 la sută din toate stelele aflate numai în galaxia noastră, Calea Lactee. Calea Lactee însăși este doar una dintre cele circa o sută de miliarde de galaxii care pot fi văzute folosind telescoapele moderne — iar fiecare galaxie conține în medie circa o sută de miliarde de stele. Dacă o stea ar fi cât un grăunte de sare, ați putea pune toate stelele vizibile cu ochiul liber într-o linguriță de ceai, în timp ce tot restul stelelor din univers ar putea umple o sferă cu diametrul de peste opt mile.

Stelele sunt atât de departe încât ne apar doar ca niște puncte luminoase. Nu le putem distinge nici forma, nici dimensiunile. Dar, așa cum a observat Hubble, există multe tipuri de stele, clasificate după culoarea luminii emise. Newton a descoperit că, dacă lumina de la Soare trece printr-o bucată de sticlă triunghiulară numită prismă, ea se desface în culorile sale componente ca într-un curcubeu. Intensitățile relative

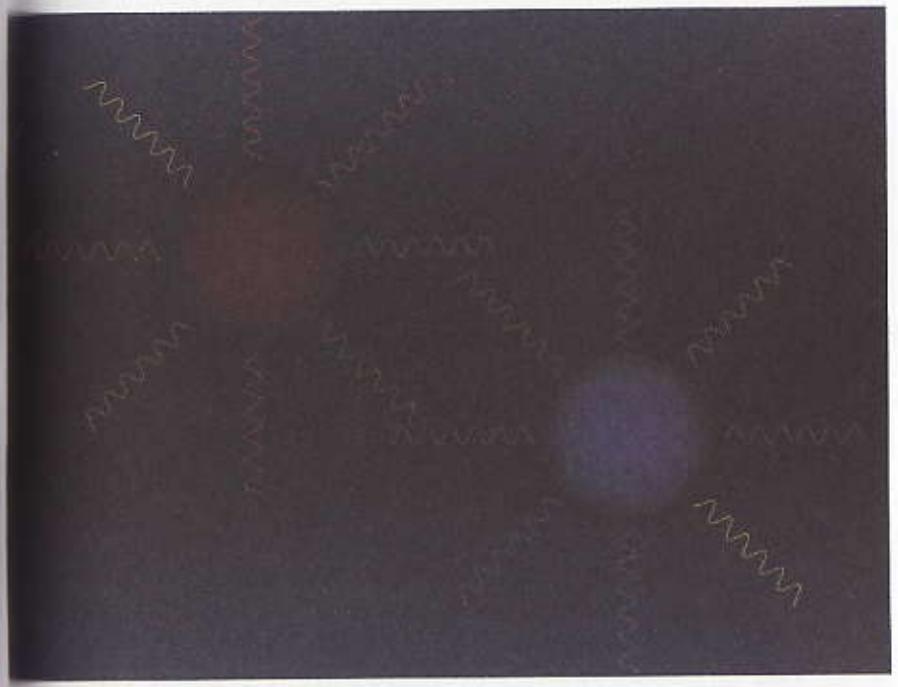


SPECTRUL STELAR

Prin analiza culorilor componente ale luminii stelare, se pot determina temperatura unei stele și compoziția atmosferei sale.

ale diverselor culori emise de o anumită sursă de lumină formează ceea ce numim spectrul sursei. Focalizând telescopul pe o stea individuală sau pe o galaxie, se poate observa spectrul luminii acelei stele sau galaxii.

Un fapt pe care ni-l dezvăluie lumina este temperatura. În 1860, fizicianul german Gustav Kirchhoff a descoperit că orice corp material, cum ar fi o stea, va emite lumină sau altă radiație atunci când va fi încălzit, la fel cum se întâmplă cu cărbunii incandescenți. Lumina unor asemenea corpuri care



SPECTRUL CORPULUI NEGRU

Toate corpurile — nu numai stelele — emit radiație rezultată din mișcarea termică a constituenților lor microscopici. Distribuția frecvențelor în această radiație constituie o caracteristică a temperaturii obiectului.

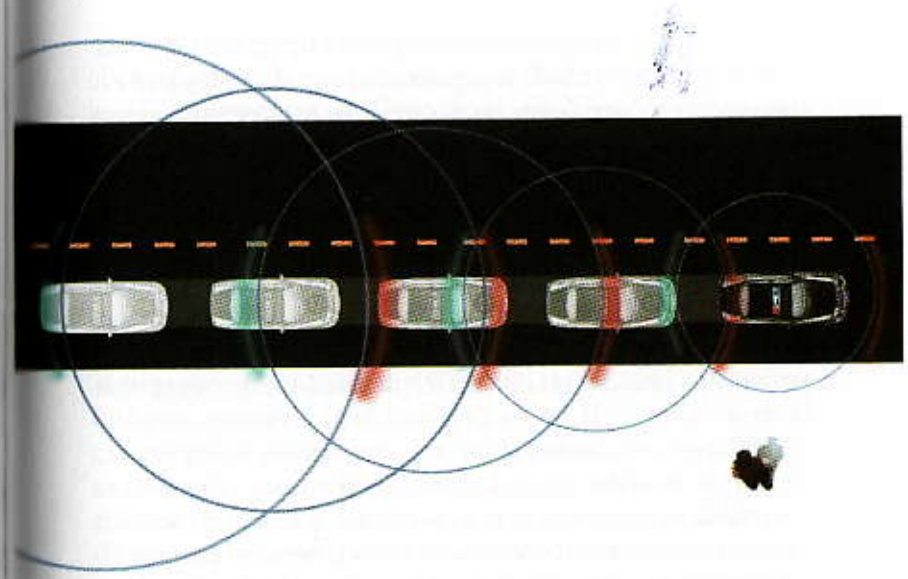
radiază este provocată de mișcarea termică a atomilor componenți și se numește radiația corpului negru (deși obiectele incandescente nu sunt negre). Spectrul radiației corpului negru este greu de confundat: el are o formă caracteristică ce variază cu temperatura corpului. Observarea luminii emise de un corp incandescent este prin urmare același lucru cu citirea unui termometru. Spectrul pe care îl observăm de la diferite stele are întotdeauna exact această formă: e o carte poștală a stării termice a stelei respective.

Dacă privim mai atent, lumina de la stele ne poate spune chiar mai multe. Aflăm astfel că anumite culori lipsesc din spectru și că aceste culori lipsă pot să difere de la stea la stea. Deoarece știm că fiecare element chimic absoarbe un grup caracteristic de culori, suprapunându-le pe acestea peste culorile care lipsesc din spectrul stelei, putem determina exact ce elemente sunt prezente în atmosfera stelei.

În anii 1920, atunci când astronomii au început să studieze spectrele stelelor din alte galaxii, ei au descoperit ceva foarte straniu: apăreau aceleași tipare caracteristice ca și la stelele din galaxia noastră, dar toate erau deplasate cu aceeași distanță către capătul roșu al spectrului.

Pentru fizicieni, deplasarea culorii sau frecvenței este cunoscută sub numele de efect Doppler. Îl cunoaștem cu toții din domeniul sunetelor. Ascultați o mașină care trece pe drum: atunci când se apropie, motorul — sau claxonul ei — sună mai ascuțit, iar după ce trece și se îndepărtează sună mai grav. Sunetul motorului sau al claxonului este o undă, o succesiune de creste și de văi. Când mașina gonește spre noi, ea va fi tot mai aproape atunci când emite crestele succesive ale undelor, astfel că distanța dintre crestele undelor — adică lungimea de undă a sunetului — va fi mai mică decât atunci când mașina staționează. Cu cât lungimea de undă este mai mică, cu atât mai multe astfel de fluctuații vor atinge urechea noastră într-o secundă și cu atât mai înalt va fi sunetul, sau frecvența sunetului. Invers, dacă mașina se îndepărtează de noi, lungimea de undă va fi mai mare, iar undele ne vor ajunge cu o frecvență mai joasă. Cu cât mașina se deplasează cu o viteză mai mare, cu atât efectul este mai mare, astfel că putem folosi efectul Doppler pentru a măsura viteza. Comportarea luminii sau a undelor radio este similară. Poliția folosește efectul Doppler pentru a stabili viteza mașinilor măsurând lungimea de undă a pulsurilor de unde radio reflectate de vehicul.

Așa cum am remarcat în Capitolul 5, lungimea de undă a luminii vizibile este extrem de mică, începând de la patruzeci și mergând până la optzeci de milionimi de centimetru. Diferitele lungimi de undă ale luminii sunt percepute de ochiul uman ca diferite culori, cu lungimea de undă cea mai mare apărând spre capătul roșu al spectrului, iar cu lungimea cea mai mică spre capătul albastru. Imaginați-vă acum o sursă de lumină aflată la o distanță constantă de noi, așa cum este o stea, emițând unde de lumină cu o lungime de undă constantă. Lungimea de undă a undelor pe care le recepționăm va fi aceeași ca lungimea de undă cu care acestea sunt emise. Să presupunem apoi că sursa începe să se miște depărtându-se de noi. Ca și în cazul sunetului, aceasta înseamnă că lumina va avea lungimea de undă mai mare, deci spectrul recepționat va fi deplasat spre capătul său roșu.



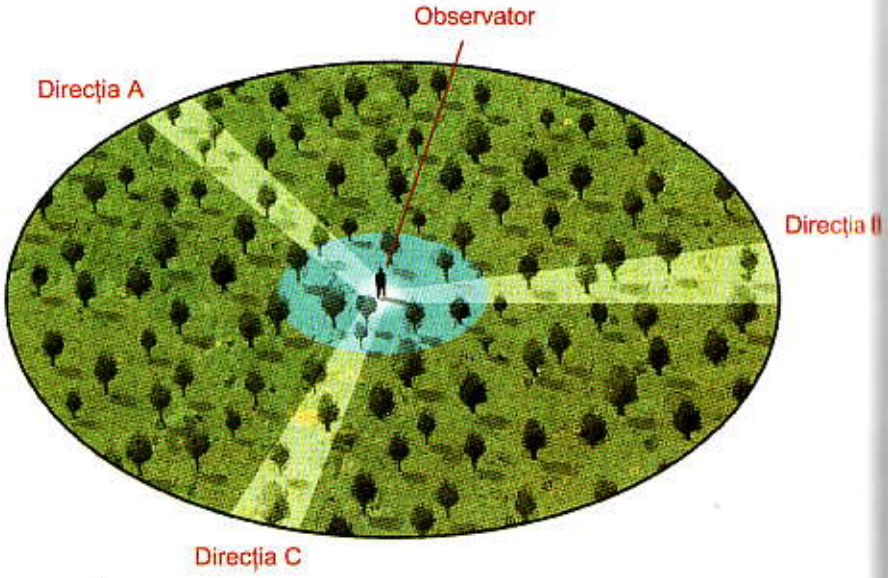
EFECTUL DOPPLER

Atunci când o sursă se mișcă spre observator, undele sale au o lungime de undă mai mică. Dacă sursa se îndepărtează de observator, lungimea de undă e mai mare. Acesta este efectul Doppler.

În anii care au urmat demonstrației sale privind existența altor galaxii, Hubble și-a petrecut timpul catalogându-le distanțele și observându-le spectrele. În acea vreme, cei mai mulți se așteptau ca galaxiile să se miște la întâmplare, astfel că Hubble se aștepta să găsească tot atâtea galaxii cu deplasare spre albastru câte sunt deplasate spre roșu. De aceea a fost surprins să descopere că cele mai multe dintre galaxii aveau spectrele deplasate spre roșu: aproape toate galaxiile se îndepărtau de noi! Și mai surprinzătoare a fost descoperirea publicată de Hubble în 1929: nici mărimea deplasării spre roșu a galaxiei nu este întâmplătoare, ci e proporțională cu distanța de la noi la galaxie. Cu alte cuvinte, cu cât o galaxie este mai depărtată, cu atât mai repede se depărtează de noi! Iar aceasta însemna că universul nu poate fi static sau invariabil în dimensiune, așa cum toată lumea crezuse până atunci. În realitate, universul se extinde, distanțele dintre diferitele galaxii crescând continuu.

Descoperirea că universul este în expansiune a fost una dintre marile revoluții intelectuale ale secolului XX. Privind retrospectiv, este ușor să te întrebi cum de nu se gândise nimeni la asta înainte. Newton și alții trebuiau să fi înțeles că un univers static ar fi instabil, deoarece nu există o forță de respingere comparabilă care să contrabalanseze atracția gravitațională pe care o exercită toate stelele și galaxiile unele asupra altora. Prin urmare, chiar dacă la un moment dat universul ar fi fost static, el nu ar fi putut rămâne static, fiindcă atracția reciprocă a tuturor stelelor și galaxiilor l-ar fi făcut curând să înceapă să se contracte. De fapt, chiar și dacă universul s-ar fi extins încet, forța gravitației ar fi determinat în cele din urmă oprirea expansiunii, iar universul ar fi început să se contracte. Dar, dacă universul s-ar extinde mai repede decât o anumită valoare critică, gravitația nu ar fi niciodată suficient de puternică pentru a opri expansiunea, iar aceasta ar continua la nesfârșit. Cam la fel se întâmplă atunci când lansăm o rachetă în sus de la suprafața Pământului. Dacă racheta are o viteză destul de mică, atunci gravitația o va opri în cele din urmă, iar racheta va începe să cadă înapoi. Dacă însă racheta are o viteză ceva mai mare decât o anumită viteză critică (de circa șapte mile pe secundă), gravitația nu va fi suficient de puternică pentru a atrage racheta înapoi, astfel încât aceasta va continua să se îndepărteze de Pământ pentru totdeauna.

Această comportare a universului putea fi prezisă din teoria lui Newton oricând în secolul al XIX-lea, al XVIII-lea, sau chiar la sfârșitul secolului al XVII-lea. Atât de puternică a fost însă credința într-un univers static, încât a persistat până la începutul secolului XX. Chiar și Einstein, când și-a formulat teoria generală a relativității în 1915, era atât de convins că universul trebuie să fie static, încât, pentru a face posibil universul static, și-a modificat teoria prin introducerea în ecuațiile sale a unui factor artificial, numit constantă cosmologică. Constanta cosmologică avea rolul unei forțe „antigravitaționale" care, spre deosebire de celelalte forțe, nu provenea din vreo sursă anume, ci era intrinsecă urzelii spațiului-timp. Ca rezultat al acestei noi forțe, spațiul-timp avea, prin însăși structura sa, tendința de a se extinde. Ajustând constanta, Einstein a putut regla amploarea acestei tendințe. El a descoperit că o poate fixa astfel încât să contrabalanseze perfect atracția reciprocă a întregii materii, obținând ca rezultat un univers static. Einstein s-a dezis mai târziu de constanta cosmologică, numind acest factor născocit „cea mai mare greșeală" a sa. După cum vom vedea în curând, astăzi avem motive să credem că s-ar putea ca Einstein să fi avut dreptate s-o introducă. Dar ceea ce trebuie să-l fi dezamăgit pe Einstein a fost faptul că s-a lăsat dominat de credința într-un univers static și a nesocotit ceea ce propria lui teorie părea să prezică: extinderea universului. Din câte știm doar un singur om a acceptat să ia în serios această predicție a relativității generale. În timp ce Einstein și alți fizicieni căutau căi pentru evitarea universului nestatic al relativității generale, matematicianul și fizicianul rus Aleksandr Friedmann s-a apucat să-l explice.



PĂDUREA IZOTROPĂ

Chiar dacă toți copacii din pădure par uniform distribuiți, copacii apropiați pot apărea grupați. În mod asemănător, universul poate să nu pară uniform în vecinătatea noastră locală și cu toate acestea, la scară mai mare, perspectiva noastră apare identică în orice direcție privim.

Friedmann a făcut două presupuneri foarte simple despre univers: că universul arată la fel în orice direcție am privi și că acest fapt rămâne valabil și dacă am observa universul din oricare alt punct. Friedmann a arătat că, pornind numai de la aceste două idei și rezolvând ecuațiile relativității generale, nu ne putem aștepta ca soluția să fie un univers static. De fapt, în 1922, cu câțiva ani înainte de descoperirea lui Edwin Hubble, Friedmann a prezis exact ceea ce Hubble avea să găsească mai târziu!

Presupunerea că universul arată la fel în orice direcție este, evident, nu tocmai exactă în realitate. De exemplu, așa cum

am menționat, celelalte stele din galaxia noastră formează o bandă distinctă de lumină de-a curmezișul cerului nocturn, numită Calea Lactee. Dar, dacă privim la galaxiile depărtate de noi, numărul acestora pare să fie mai mult sau mai puțin același în fiecare direcție. Așadar, universul pare să fie aproximativ același în orice direcție am privi, cu condiția să-l considerăm la o scară mare în comparație cu distanța dintre galaxii și să ignorăm deosebirile la scară mică. Imaginați-vă că sunteți într-o pădure în care copacii cresc în locuri întâmplătoare. Dacă veți privi într-o direcție, veți putea vedea primul copac la o distanță de, să zicem, un metru. În altă direcție, puteți vedea un pâlc de copaci la doi metri distanță. Pădurea nu pare să fie la fel în orice direcție, dar, dacă veți lua în considerare toți copacii pe o rază de o milă, acest tip de diferențe vor dispărea prin mediere și veți descoperi că pădurea este aceeași în orice direcție ați privi.

Multă vreme, distribuția uniformă a stelelor a constituit o justificare suficientă pentru ipoteza lui Friedmann — ca o aproximație în linii mari a universului real. Dar, mai recent, o fericită întâmplare a dezvăluit că și în altă privință presupunerea lui Friedmann constituie o descriere remarcabil de exactă a universului nostru. În 1965, doi fizicieni americani de la Laboratoarele Bell Telephone din New Jersey, Arno Penzias și Robert Wilson, verificau un detector de microunde foarte sensibil. (Să ne amintim că microundele sunt întocmai ca undele de lumină, dar cu lungimea de undă de circa un centimetru.) Penzias și Wilson își făceau griji, deoarece detectorul lor capta mai mult zgomot decât ar fi trebuit. Ei au găsit murdărie de porumbei în detector și au cercetat toate disfuncțiile posibile, dar le-au exclus repede. Zgomotul avea particularitatea de a persista neschimbat zi și noapte în tot cursul anului, deci chiar și atunci când Pământul se rotește în jurul axei proprii și orbitează în jurul Soarelui. Deoarece rotația Pământului și mișcarea lui pe orbită îndreptau detectorul în diferite direcții din spațiu, Penzias și Wilson au tras conclu-

zia că zgomotul venea de dincolo de sistemul solar și chiar de dincolo de galaxia noastră. Zgomotul părea să parvină în mod egal din toate direcțiile din spațiu. Știm acum că, în orice direcție am privi, acest zgomot nu variază cu mai mult de o infimă fracțiune, astfel că, fără să vrea, Penzias și Wilson dăduseră peste o exemplificare izbitoare a primei presupuneri a lui Friedmann conform căreia universul este același în toate direcțiile.

Care este originea acestui zgomot de fond cosmic? Aproximativ în același timp în care Penzias și Wilson cercetau zgomotul din detectorul lor, doi fizicieni americani de la Universitatea Princeton din apropiere, Bob Dicke și Jim Peebles, erau și ei interesați de microunde. Ambii lucrau la o ipoteză emisă de George Gamow (fost student al lui Aleksandr Friedmann) conform căreia universul timpuriu ar fi trebuit să fie foarte fierbinte și dens, incandescent până la alb. Dicke și Peebles au susținut că ar trebui să mai putem observa incandescența universului timpuriu, deoarece lumina de la cele mai îndepărtate regiuni ale acestuia ar ajunge tocmai acum la noi. Dar expansiunea universului ar face ca această lumină să fie atât de mult deplasată spre roșu, încât să ne apară astăzi sub formă de radiație de microunde și nu de lumină vizibilă. Dicke și Peebles se pregăteau să caute această radiație atunci când Penzias și Wilson au aflat despre lucrarea lor și au înțeles că ei o descoperiseră deja. Pentru aceasta, Penzias și Wilson au primit Premiul Nobel în 1978 (ceea ce a însemnat o lovitură pentru Dicke și Peebles, ca să nu mai vorbim de Gamow).

La prima vedere, toate aceste dovezi că universul apare la fel oricare ar fi direcția în care privim par să sugereze că locul nostru în univers este unul privilegiat. În particular, dacă vedem toate galaxiile îndepărtându-se de noi, atunci înseamnă că ne aflăm în centrul universului. Există însă și o altă explicație: privit din orice galaxie, universul poate arăta la fel în orice direcție. După cum am văzut, aceasta este cea de-a doua ipoteză a lui Friedmann.

EXPANSIUNEA UNIVERSULUI-BALON

Ca rezultat al expansiunii universului, toate galaxiile se îndepărtează una de alta. Cu timpul — așa cum se întâmplă cu petele de pe suprafața unui balon care se umflă — distanțele dintre galaxiile mai îndepărtate cresc mai repede decât distanțele între galaxiile mai apropiate. Prin urmare, pentru un observator din orice galaxie dată, cu cât galaxia observată este mai îndepărtată, cu atât ea îi apare ca îndepărtându-se mai repede.

Nu avem vreo dovadă științifică în favoarea sau împotriva celei de-a doua ipoteze a lui Friedmann. Cu secole în urmă, biserica ar fi considerat-o erezie, deoarece dogma bisericii afirmă că noi ocupăm un loc special în centrul universului. Dar astăzi noi avem încredere în presupunerea lui Friedmann din-

tr-un motiv opus, dintr-un fel de modestie: ni se pare că ar fi cu totul ieșit din comun ca universul să arate la fel în orice direcție din jurul nostru, dar nu și din jurul altor puncte ale universului!

În modelul universului propus de Friedmann, toate galaxiile se îndepărtează una de alta. Situația este destul de asemănătoare cu cea a unui balon cu un număr de pete pictate pe suprafață și care se umflă constant. Pe măsură ce balonul se dilată, distanța dintre două pete crește, fără să existe vreo pată despre care să se poată spune că ar constitui centrul expansiunii. Mai mult, pe măsură ce raza balonului crește constant, cu cât petele se află la distanță mai mare pe balon, cu atât se îndepărtează mai repede unele de altele. Să presupunem, de exemplu, că raza balonului se dublează într-o secundă. Două pete care se aflau înainte la o distanță de un centimetru (măsurată pe suprafața balonului) vor fi acum la doi centimetri una de alta, astfel că viteza lor relativă va fi de un centimetru pe secundă. Pe de altă parte, două pete care erau la zece centimetri una de alta, vor fi acum la douăzeci de centimetri, astfel că viteza lor relativă va fi de zece centimetri pe secundă. În mod asemănător, în modelul lui Friedmann, viteza cu care se deplasează oricare două galaxii una față de alta este proporțională cu distanța dintre ele, așa încât el a prezis că deplasarea spre roșu a unei galaxii trebuie să fie proporțională cu distanța până la ea, exact ce a descoperit Hubble. În pofida succesului modelului său și a predicției observațiilor lui Hubble, lucrarea lui Friedmann a rămas în mare măsură necunoscută în Occident, până când, în 1935, fizicianul american Howard Robertson și matematicianul britanic Arthur Walker au propus modele similare ca reacție la descoperirea de către Hubble a expansiunii uniforme a universului.

Friedmann a dedus numai un singur model al universului. Dar, dacă presupunerile sale sunt corecte, atunci sunt posibile de fapt trei tipuri de soluții ale ecuațiilor lui Einstein,

adică trei tipuri de modele Friedmann — trei moduri diferite în care se poate comporta universul.

În primul tip de soluție (cel găsit de Friedmann), universul se extinde suficient de încet pentru ca atracția gravitațională dintre galaxii să ducă la încetinirea expansiunii și, în cele din urmă, s-o oprească. Atunci, galaxiile încep să se miște una spre alta, iar universul se contractă. În cel de-al doilea tip de soluție, universul se extinde atât de rapid încât forța gravitațională nu poate opri niciodată expansiunea, deși o încetinește puțin. În sfârșit, există un al treilea tip de soluție, în care universul se extinde exact atât de repede încât să evite colapsul. Viteza cu care se îndepărtează galaxiile una de alta scade tot mai mult, dar fără să ajungă vreodată la zero.

O caracteristică remarcabilă a primului tip de model al lui Friedmann este că în acest cadru universul nu este infinit în spațiu, dar spațiul nu are vreo margine. Gravitația este atât de puternică, încât spațiul e curbat înspre sine. Este ca suprafața Pământului, care e finită, dar nu are margini. Dacă veți merge continuu pe suprafața Pământului păstrând mereu aceeași direcție, nu vă veți lovi niciodată de vreo barieră de netrecut și nici nu veți cădea vreodată peste vreo muchie, iar, în cele din urmă, veți reveni la locul de pornire. Ideea că puteți merge drept înainte dând ocol universului și ajungând în locul de pornire e un bun scenariu științifico-fantastic, dar nu are vreo semnificație practică, deoarece se poate demonstra că universul ar colapsa până la dimensiunea zero înainte de a apuca să terminați ocolul. Universul este atât de vast, încât, pentru a încheia călătoria în punctul de pornire înainte ca universul să sfârșească, ar trebui să vă deplasați cu o viteză mai mare decât cea a luminii — iar asta e imposibil! Și în cel de-al doilea model al lui Friedmann spațiul este curbat, deși în alt mod. Numai cel de-al treilea model al lui Friedmann corespunde unui univers a cărui geometrie pe scară largă este plată (deși spațiul este curbat, sau răsucit, în vecinătatea obiectelor masive).

Care dintre modelele lui Friedmann descrie universul nostru? Se va opri oare în cele din urmă universul din expansiune și va începe să se contracte sau se va extinde pentru totdeauna?

Răspunsul la această întrebare se vădește mai complicat decât au crezut la început oamenii de știință. Analiza cea mai simplă depinde de două lucruri: rata actuală a expansiunii universului și densitatea sa medie actuală (cantitatea de materie într-un volum dat de spațiu). Cu cât este mai mare rata actuală de expansiune, cu atât este mai mare forța gravitațională necesară s-o stopeze și deci cu atât mai mare trebuie să fie densitatea de materie necesară pentru aceasta. Dacă densitatea medie este mai mare decât o anumită valoare critică (determinată de rata de expansiune), atracția gravitațională a materiei din univers va reuși să-i oprească expansiunea și să-i provoace colapsul — ceea ce corespunde primului model al lui Friedmann. Dacă densitatea medie este mai mică decât densitatea critică, nu există suficientă atracție gravitațională ca să stopeze expansiunea, iar universul se va extinde pentru totdeauna — ceea ce corespunde celui de-al doilea model al lui Friedmann. Iar dacă densitatea medie a universului are exact valoarea critică, universul își va încetini la nesfârșit expansiunea, apropiindu-se continuu de o dimensiune statică, dar fără s-o atingă vreodată. Această situație corespunde celui de-al treilea model al lui Friedmann.

Așadar, ce se va întâmpla? Folosind efectul Doppler, putem determina rata actuală a expansiunii măsurând vitezele cu care se depărtează galaxiile. Metoda e foarte precisă. Distanțele până la galaxii nu sunt însă foarte bine cunoscute, deoarece le putem măsura doar indirect. Astfel, tot ce știm este că universul se extinde cu 5 până la 10 procente la fiecare miliard de ani. Incertitudinea noastră privind densitatea medie actuală a universului este încă și mai mare. Chiar dacă punem la socoteală masa tuturor stelelor pe care le putem vedea în galaxia noastră și în alte galaxii, totalul reprezintă

mai puțin de o sutime din cantitatea necesară pentru a opri expansiunea universului, fie și pentru cele mai mici estimări ale ratei sale de expansiune.

Dar povestea nu se încheie aici. Galaxia noastră și alte galaxii trebuie să conțină de asemenea o mare cantitate de „materie întunecată" pe care nu o putem vedea direct, dar despre care știm că trebuie să fie acolo datorită influenței atracției sale gravitaționale asupra stelelor care orbitează în galaxie. Poate că cea mai grăitoare dovadă în acest sens provine de la stelele aflate la periferia galaxiilor spirale cum este și Calea noastră Lactee. Aceste stele orbitează în galaxii mult prea repede pentru a fi menținute pe traiectorii doar de atracția gravitațională a stelelor galactice observate. În plus, cele mai multe galaxii sunt grupate în roiuri, iar noi putem în mod similar deduce prezența unei și mai mari cantități de materie întunecată între galaxiile acestor roiuri prin efectul ei asupra mișcării galaxiilor. De fapt, cantitatea de materie întunecată depășește cu mult cantitatea de materie obișnuită din univers. Dacă însumăm toată această materie întunecată, obținem totuși numai circa o zecime din cantitatea de materie necesară opririi expansiunii. Dar s-ar putea să existe, de asemenea, alte forme de materie întunecată, distribuite uniform prin univers, care nu au fost încă detectate și care ar putea ridica și mai mult densitatea medie a universului. De exemplu, există un tip de particule elementare numite neutrini, care interacționează foarte slab cu materia și este extrem de dificil de detectat (un experiment recent cu neutrinii a folosit un detector subteran umplut cu cincizeci de mii de tone de apă). Neutrinul a fost considerat o particulă fără masă și, prin urmare, lipsit de atracție gravitațională, dar experimentele din ultimii ani au indicat că neutrinul are de fapt o infimă masă care nu fusese detectată în trecut. Dacă neutrinii au masă, ei pot constitui o formă de materie întunecată. Dar chiar și luând în calcul materia întunecată formată din neutrini, masa

totală din univers rămâne încă prea mică față de aceea necesară pentru a-i opri expansiunea, astfel încât, până de curând, cei mai mulți fizicieni ar fi fost de acord că universului i se aplică cel de-al doilea model al lui Friedmann.

Au apărut însă noi observații. În ultimii ani, mai multe echipe de cercetători au studiat minusculele ondulații din radiația de microunde descoperită de Penzias și Wilson. Mărimea acestor ondulații poate da indicii asupra geometriei pe scară largă a universului, iar ondulațiile par să sugereze că universul este de fapt plat (ca în cel de-al treilea model al lui Friedmann)! Deoarece în acest caz nu pare să existe destulă materie sau materie întunecată care să explice această stare de lucruri, fizicienii au postulat existența unei substanțe încă neidentificate ca atare — energia întunecată.

Pentru a complica și mai mult lucrurile, alte observații recente indică faptul că rata expansiunii universului nu scade, ci crește. Nici un model al lui Friedmann nu prevede așa ceva! Este foarte straniu, deoarece efectul materiei din spațiu, fie că are densitate mică, fie că are densitate mare, poate doar să încetinească expansiunea. La urma urmei, gravitația este atractivă. O expansiune cosmică accelerată este ceva în genul suflului unei explozii care sporește în loc să se disipe după explozie. Ce forță ar putea fi responsabilă pentru a împinge tot mai rapid cosmosul către expansiune? Nimeni nu este încă sigur, dar ar putea fi o dovadă că, la urma urmei, Einstein a avut dreptate în legătură cu necesitatea constantei cosmologice (și a efectului ei antigravitațional).

Odată cu dezvoltarea rapidă a noilor tehnologii și a noilor telescoape instalate pe sateliți, aflăm repede lucruri noi și surprinzătoare despre univers. Ne putem face acum o idee despre comportarea lui în epoca târzie: universul va continua să se extindă cu o rată mereu crescătoare. Timpul se va scurge la nesfârșit, cel puțin pentru cei destul de prudenți așa încât să nu cadă într-o gaură neagră. Dar ce putem spune despre epocile timpurii? Cum a început universul și ce l-a făcut să se extindă?

8

Big bang-ul, găurile negre și evoluția universului

În primul model al lui Friedmann, cea de-a patra dimensiune a universului, timpul, are — ca și spațiul — o extensie finită. Timpul este ca un segment de dreaptă cu două capete sau extremități. Așadar, timpul are un sfârșit și un început. De fapt, toate soluțiile ecuațiilor lui Einstein în care universul posedă cantitatea de materie pe care o observăm au o trăsătură comună importantă: la un moment dat, în trecut (acum vreo 13,7 miliarde de ani), distanța dintre galaxii trebuie să fi fost nulă. Cu alte cuvinte, întregul univers era comprimat într-un singur punct, de dimensiuni egale cu zero, ca o sferă de rază nulă. În acel moment, densitatea universului și curbura spațiului-timp ar fi fost infinite. Acel moment a căpătat numele de big bang.

Toate teoriile noastre cosmologice sunt bazate pe presupunerea că spațiul-timp este neted și aproape plat. Aceasta înseamnă că toate teoriile noastre cad la momentul big bang-ului: un spațiu-timp cu curbură infinită nu prea poate fi considerat aproape plat! Astfel, chiar dacă înainte de big bang ar fi existat evenimente, nu le-am putea folosi pentru a determina ce s-a întâmplat după aceea, deoarece la big bang capacitatea de predicție se prăbușește.

Invers, dacă, așa cum este cazul, noi știm doar ce s-a întâmplat de la big bang încoace, nu putem determina ce s-a întâmplat înainte de acesta. În ce ne privește, evenimentele dinaintea big bang-ului nu pot avea vreo consecință și, prin urmare, nu trebuie să constituie vreo parte a modelului științific al

universului. Trebuie deci să le excludem din model și să spunem că big bang-ul a fost începutul timpului. Asta înseamnă că întrebările de tipul cine a potrivit condițiile pentru big bang nu sunt întrebări pe care să și le pună știința.

O altă infinitate care apare atunci când universul are dimensiunea zero este aceea a temperaturii. Se consideră că universul ar fi fost infinit de fierbinte chiar la momentul big bang-ului. Pe măsură ce universul s-a extins, temperatura radiației a scăzut. Deoarece temperatura este măsura directă a energiei medii — sau a vitezei — particulelor, această răcire a universului a trebuit să aibă un efect major asupra materiei constituente. La temperaturi foarte înalte, particulele trebuiau să se miște atât de repede încât să scape de orice atracție reciprocă rezultată din forțele nucleare sau electromagnetice. Dar, pe măsură ce particulele se răceau, ne așteptăm ca acelea angrenate în atracție reciprocă să fi început să se adune laolaltă. Până și tipurile de particule care există în univers depind de temperatura și deci de vârsta universului.

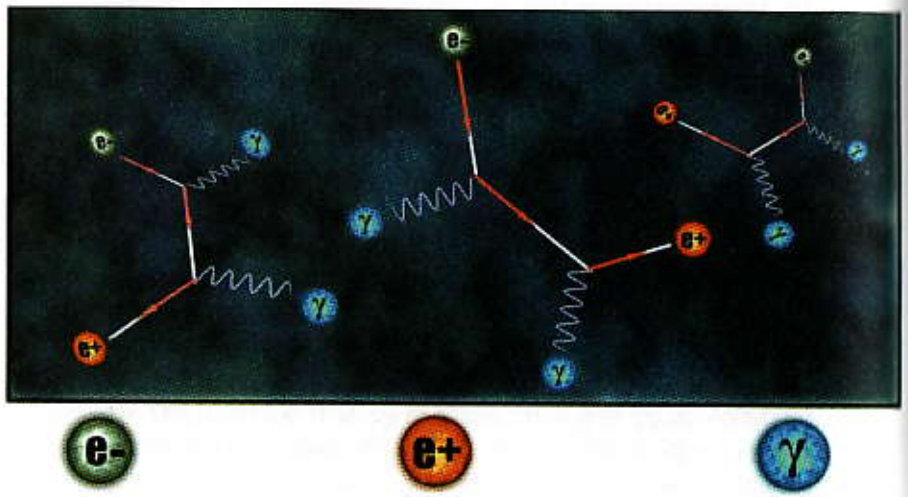
Aristotel nu credea că materia ar putea fi alcătuită din particule. El credea că materia este continuă. În concepția lui, aceasta însemna că o bucată de materie ar putea fi divizată la nesfârșit în părți din ce în ce mai mici: n-ar exista deci nici un grăunte de materie care să nu poată fi divizat în continuare. Totuși, unii greci, cum ar fi Democrit, susțineau că materia este intrinsec granulară și că toate lucrurile sunt alcătuite dintr-un număr mare de diferite tipuri de atomi. (Cuvântul *atom* înseamnă în limba greacă indivizibil.) Noi știm acum că acest lucru este adevărat — cel puțin în mediul nostru și în starea actuală a universului. Dar atomii universului nostru n-au existat dintotdeauna, iar ei reprezintă doar o mică fracțiune din tipurile de particule din univers.

Atomii sunt alcătuiți din particule mai mici: electroni, protoni și neutroni. Protonii și neutronii sunt alcătuiți ei înșiși din particule și mai mici, numite cuarci. În plus, pentru fiecare dintre aceste particule subatomice există câte o antiparticulă. Antiparticulele au aceeași masă ca particulele respective, dar le sunt opuse în ceea ce privește sarcina și alte atribute. De exemplu, antiparticula electronului, numită pozitron, are o sarcină pozitivă, opusă sarcinii electronului. Ar putea exista antilumi și antiomeniri alcătuite complet din antiparticule. Totuși, atunci când o antiparticulă și o particulă se întâlnesc, ele se anihilează reciproc. Așadar, dacă vă întâlniți cu antipersoana dumneavoastră, nu dați mâna — ați dispărea amândoi într-o mare explozie de lumină!

Energia luminii apare sub forma unui alt tip de particule, unele fără masă numite fotoni. Cea mai mare sursă de fotoni pentru planeta noastră este furnalul nuclear al Soarelui, aflat în vecinătate. Tot Soarele este sursa imensă a unui alt fel de particule menționate înainte, neutrinii (și antineutrinii). Dar aceste particule interacționează foarte puțin cu materia, astfel încât ei trec prin noi cu o rată de miliarde de particule pe secundă, dar fără vreun efect. În total, fizicienii au descoperit zeci de astfel de particule elementare. Deoarece universul a parcurs o evoluție complexă de-a lungul timpului, compoziția acestei grădini zoologice de particule a variat și ea. Această evoluție a făcut posibilă existența unor planete ca a noastră și a unor ființe cum suntem noi.

La o secundă după big bang, universul se extinsese destul de mult pentru ca temperatura lui să coboare până la circa zece miliarde de grade Celsius. Aceasta este o temperatură de o mie de ori mai mare decât în centrul Soarelui, dar asemenea temperaturi înalte sunt atinse în exploziile bombei cu hidrogen. În acel timp, universul conținea în cea mai mare parte fotoni, electroni și neutrini, ca și antiparticulele lor, împreună cu ceva protoni și neutroni. Aceste particule aveau o energie atât de mare, încât, atunci când se ciocneau, ele produceau multe perechi diverse de particulă/antiparticulă. De exemplu, fotonii puteau produce prin ciocnire un electron și perechea acestuia, pozitronul. Unele dintre particulele nou produse se ciocneau cu antiparticula corespunzătoare,

anihilându-se reciproc. Ori de câte ori un electron întâlnește un pozitron, amândoi se vor anihila, dar procesul invers nu este la fel de ușor: pentru ca două particule fără masă cum sunt fotonii să creeze o pereche particulă/antiparticulă cum este aceea electron/pozitron, particulele fără masă care se ciocnesc trebuie să aibă o anumită energie minimă. Aceasta deoarece electronul și pozitronul au masă, iar noua masă creată trebuie să provină din energia particulelor care se ciocnesc. Pe măsură ce universul continua să se extindă, iar temperatura să scadă, ciocnirile având suficientă energie pentru a crea perechi de electron/pozitron se produceau mai puțin frecvent decât erau distruse perechile prin anihilare. Astfel, până



ECHILIBRUL FOTON – ELECTRON – POZITRON

În universul timpuriu exista un echilibru între perechile de electroni și pozitroni care se ciocneau pentru a crea fotoni și procesul invers. Pe măsură ce temperatura universului a scăzut, echilibrul s-a modificat în favoarea producerii de fotoni. În cele din urmă, cei mai mulți electroni și pozitroni din univers s-au anihilat, lăsând numai relativ puțini electroni prezenți azi.

la urmă, cei mai mulți dintre electroni și pozitroni s-au anihilat unul pe celălalt, pentru a produce mai mulți fotoni, lăsând numai relativ puțini electroni. Pe de altă parte, neutrinii și antineutrinii interacționează numai foarte slab între ei și cu celelalte particule, astfel că nu se vor anihila reciproc nici pe departe atât de repede. Ei trebuie să fie prezenți pe aici chiar și astăzi. Dacă i-am putea observa, ar fi un bun test pentru imaginea stadiului timpuriu foarte fierbinte al universului, dar, din nefericire, după miliarde de ani, energia lor este prea mică pentru a-i observa direct (însă ar exista posibilitatea să-i detectăm indirect).

După circa o sută de secunde de la big bang, temperatura universului ar fi scăzut la un miliard de grade, temperatura din interiorul celor mai fierbinți stele. La această temperatură, o forță numită forța nucleară tare a jucat un rol important. Forța tare, pe care o vom prezenta mai detaliat în Capitolul 11, este o forță de atracție de mică distanță, care poate determina neutronii și protonii să se lege între ei, formând nuclee. La temperaturi destul de ridicate, protonii și neutronii au suficientă energie de mișcare (vezi Capitolul 5) încât să iasă din ciocniri încă liberi și independenți. Dar, la un miliard de grade, ei nu mai posedă destulă energie pentru a învinge atracția forței tari, astfel că vor începe să se combine, producând nuclee ale atomilor de deuteriu (hidrogen greu) care conțin un proton și un neutron. Nucleele de deuteriu se combină apoi cu mai mulți protoni și neutroni, formând nuclee de heliu, care conțin doi protoni și doi neutroni, ca și mici cantități din câteva elemente mai grele, litiu și beriliu. Se poate calcula că, în modelul big bang-ului, circa un sfert din numărul protonilor și neutronilor s-ar fi convertit în nuclee de heliu, precum și într-o cantitate mai mică de hidrogen greu sau de alte elemente. Neutronii rămași s-au dezintegrat în protoni, care constituie nucleele atomilor de hidrogen obișnuit.

Această descriere a stadiului timpuriu fierbinte al universului a fost propusă de savantul George Gamow (vezi p. 70) în faimoasa lucrare scrisă în 1948 împreună cu un student de-al lui, Ralph Alpher. Gamow avea un simț al umorului foarte dezvoltat; el l-a convins pe Hans Bethe, specialist în fizica nucleară, să-și adauge numele în calitate de coautor al lucrării, astfel încât lista autorilor să fie Alpher, Bethe, Gamow, întocmai ca primele trei litere ale alfabetului grecesc, alfa, beta, gama, găselniță foarte nimerită pentru o lucrare despre începutul universului! În această lucrare, ei au făcut remarcabila predicție după care radiația (sub formă de fotoni) din stadiile timpurii, foarte fierbinți, ale universului ar trebui să fie prezentă în preajma noastră și astăzi, dar cu temperatura redusă la numai câteva grade deasupra lui zero absolut. (Zero absolut, adică −273 grade Celsius, este temperatura la care substanțele nu mai conțin energie termică, fiind așadar cea mai joasă temperatură posibilă.)

Tocmai aceasta a fost radiația descoperită de Penzias și Wilson în 1965. În perioada în care Alpher, Bethe și Gamow și-au scris lucrarea, nu se știau prea multe despre reacțiile nucleare ale protonilor și neutronilor. Ca urmare, predicțiile efectuate pentru proporțiile diferitelor elemente prezente în universul timpuriu erau destul de imprecise, dar calculele au fost repetate în lumina cunoștințelor mai avansate, iar acum ele concordă foarte bine cu ceea ce observăm. Mai mult, ar fi foarte greu de explicat pe orice altă cale de ce aproximativ o pătrime din masa universului este prezentă sub formă de heliu.

Dar această descriere are unele neajunsuri. În modelul de big bang fierbinte, nu era destul timp ca în universul timpuriu căldura să se fi propagat de la o regiune la alta. Aceasta înseamnă că starea inițială a universului ar fi trebuit să aibă exact aceeași temperatură peste tot pentru a explica de ce fondul de microunde are aceeași temperatură în orice direcție am privi. Mai mult, viteza inițială de expansiune ar fi trebuit

să fie aleasă foarte precis, astfel încât viteza de expansiune să rămână mereu foarte apropiată de valoarea critică necesară pentru evitarea colapsului. Ar fi foarte greu de explicat de ce universul a trebuit să înceapă să existe tocmai în acest fel, altfel decât prin acțiunea vreunui Dumnezeu care a vrut să creeze ființe ca noi. Într-o încercare de a găsi un model al universului în care mai multe configurații diferite ar fi putut să evolueze către ceva asemănător cu universul actual, un om de știință de la Massachusetts Institute of Technology, Alan Guth, a sugerat că universul timpuriu a trecut printr-o perioadă de expansiune foarte rapidă. Se spune despre această expansiune că a fost inflaționară în sensul că la un moment dat Universul s-a extins cu o rată crescătoare. După Guth, raza universului a crescut de un milion de milion de milioane de milioane de milioane de ori — 1 urmat de 30 de zerouri — în numai o infimă fracțiune de secundă. Această expansiune ar fi șters orice neregularitate din univers, întocmai cum sunt netezite cutele unui balon atunci când îl umflați. În acest fel, inflația explică modul în care starea actuală netedă și uniformă a putut să evolueze pornind din diferite stări neuniforme. Suntem, prin urmare, destul de încrezători că descrierea noastră este corectă, cel puțin pentru intervalul care începe de la circa o milionime de trilionime de trilionime de secundă după big bang.

După această agitație inițială, în decursul câtorva ore de la big bang, producția de heliu și de alte câteva elemente cum ar fi litiul s-a oprit. Iar apoi, timp de circa un milion de ani, universul a continuat să se extindă fără să se mai fi întâmplat ceva important. În cele din urmă, odată ce temperatura a scăzut la câteva mii de grade, astfel încât electronii și nucleele să nu mai aibă destulă energie pentru a învinge atracția dintre ei, aceștia au început să se combine, formând atomi. Universul ca întreg a continuat să se extindă și să se răcească, dar, în regiunile care aveau densitatea ceva mai mare decât

media, expansiunea a fost încetinită de atracția gravitațională suplimentară.

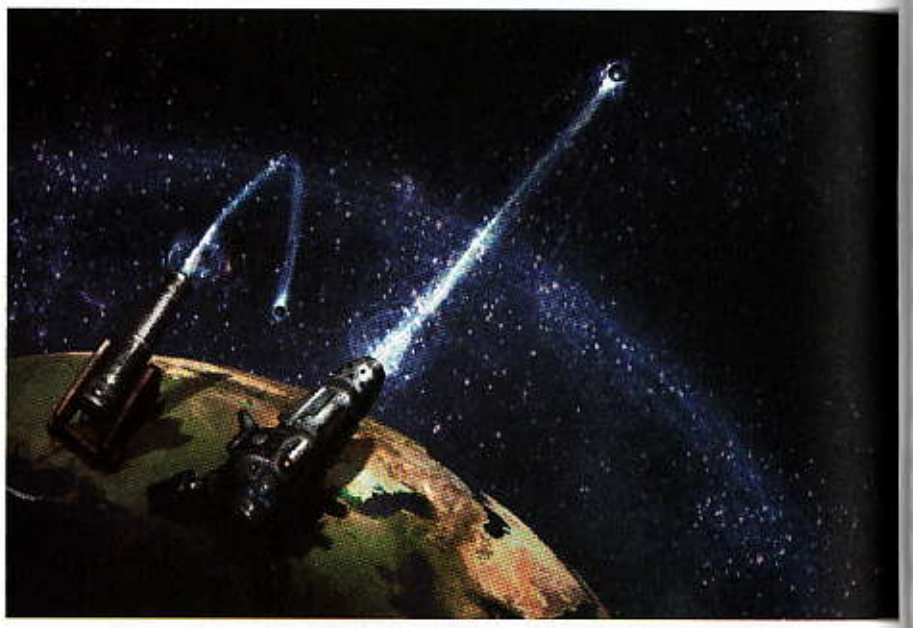
Această atracție a oprit în cele din urmă expansiunea în anumite regiuni și a provocat acolo începutul unui colaps. Pe măsură ce aceste regiuni colapsau, atracția gravitațională a materiei din afara lor le făcea să se rotească ușor. Concomitent cu micșorarea regiunii care colapsa, aceasta începea să se rotească mai repede — așa cum se învârt mai repede patinatorii atunci când își apropie brațele de corp. După un timp, când regiunea a devenit destul de mică, rotația ei era suficient de rapidă pentru a contrabalansa atracția gravitațională. În acest fel au luat naștere galaxiile rotitoare. Alte regiuni, care nu au ajuns să se rotească, au devenit obiecte cerești ovale, numite galaxii eliptice. Acolo, regiunea se va opri din colaps, deoarece părțile individuale ale galaxiei orbitează stabil în jurul centrului acesteia, dar galaxia ca întreg nu se va roti.

Cu timpul, gazul de hidrogen și heliu din galaxii s-a despărțit în nori mai mici care au colapsat sub influența propriei gravitații. În timpul contracției, atomii se ciocneau între ei, temperatura creștea, astfel încât, în cele din urmă, gazul a devenit suficient de fierbinte pentru a declanșa reacții de fuziune nucleară. Astfel, mai mult hidrogen s-a convertit în heliu. Căldura degajată în această reacție, care este ca un fel de explozie controlată a unei bombe cu hidrogen, face steaua să strălucească. Căldura suplimentară mărește de asemenea presiunea gazului până când aceasta este suficientă pentru a contrabalansa atracția gravitațională și a opri gazul din colaps. În acest fel, norii se concentrează fiecare în formă de stele asemănătoare cu Soarele nostru, arzând hidrogenul și generând heliu și radiind energia rezultată sub formă de căldură și lumină. Totul seamănă oarecum cu un balon — există un echilibru între presiunea aerului din interior, care tinde să dilate balonul, și tensiunea din cauciuc, care tinde să-l contracte.

Odată ce norii de gaz fierbinte formează stele, stelele rămân stabile un timp îndelungat, căldura degajată de reacții-

ile nucleare echilibrând atracția gravitațională. În cele din urmă însă, steaua va consuma tot hidrogenul și ceilalți combustibili nucleari. În mod paradoxal, cu cât o stea are la început mai mult combustibil, cu atât îl termină mai devreme. Lucrurile stau astfel, deoarece cu cât o stea este mai masivă, cu atât trebuie să fie mai fierbinte pentru a-și contrabalansa atracția gravitațională. Și cu cât o stea este mai fierbinte, cu atât reacțiile nucleare îi vor consuma mai repede combustibilul. Soarele nostru are probabil destul combustibil pentru încă aproximativ cinci miliarde de ani, dar stelele mai masive pot să-și epuizeze combustibilul într-o sută de milioane de ani, deci într-un timp mult mai scurt decât vârsta universului.

Atunci când o stea rămâne fără combustibil, ea începe să se răcească, iar gravitația predomină, provocându-i contracția și presându-i atomii, ceea ce face ca steaua să devină din nou mai fierbinte. Pe măsură ce steaua se încălzește în continuare, ea va începe să convertească heliul în elemente mai grele cum sunt carbonul și oxigenul. Acest proces nu va elibera mult mai multă energie, astfel că se ajunge la o criză. Nu este perfect clar ce anume se întâmplă apoi, dar se pare că regiunile centrale ale stelei vor colapsa într-o stare foarte densă, cum este gaura neagră. Termenul de „gaură neagră" are o origine foarte recentă. El a fost făurit în 1969 de omul de știință american John Wheeler ca descrierea grafică a unei idei care datează de cel puțin două sute de ani, din vremea în care existau două teorii despre lumină: prima, susținută de Newton, considera că lumina e alcătuită din particule, iar cealaltă că lumina e alcătuită din unde. Noi știm acum că, de fapt, ambele teorii sunt corecte. Așa cum vom vedea în Capitolul 9, conform dualității undă/particulă din mecanica cuantică, lumina poate fi considerată și undă, și particulă. Descriptorii *undă* și *particulă* sunt concepte create de oameni, concepte pe care natura nu este obligată să le respecte făcând ca toate fenomenele să țină de o categorie sau de alta!



GHIULELE DE TUN MAI RAPIDE SAU MAI PUȚIN RAPIDE DECÂT VITEZA DE FUGĂ.

În cadrul teoriei după care lumina este alcătuită din unde, nu era clar cum reacționează lumina la gravitație. Dar, dacă ne gândim la lumină ca fiind compusă din particule, ne putem aștepta ca aceste particule să fie influențate de gravitație la fel ca proiectilele, rachetele sau planetele. De exemplu, dacă trageți cu tunul în sus de la suprafața Pământului — sau a unei stele —, proiectilul va încetini și în cele din urmă va cădea înapoi, cu excepția cazului în care viteza sa de lansare depășește o anumită valoare. Valoarea minimă a acestei viteze se numește viteză de fugă. Pentru o stea, această viteză depinde de intensitatea atracției gravitaționale. Cu cât mai masivă este steaua, cu atât mai mare este viteza ei de fugă. La început,

oamenii credeau că particulele de lumină se deplasează infinit de repede, astfel că gravitația n-ar putea să le încetinească, dar descoperirea lui Roemer că lumina se propagă cu viteză finită conducea la ideea că gravitația poate avea un efect important: dacă steaua are o masă suficient de mare, atunci viteza luminii poate fi mai mică decât viteza de fugă a stelei, asfel încât toată lumina emisă va cădea înapoi pe stea. Pe baza acestei ipoteze, în 1788, un profesor de la Cambridge, John Michell, a publicat o lucrare în *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* în care a arătat că o stea care este suficient de masivă și compactă ar dispune de un câmp gravitațional atât de intens încât lumina nu ar mai putea evada; orice lumină emisă de suprafața unei astfel de stele ar fi trasă înapoi, înainte să ajungă prea departe. Asemenea obiecte cerești sunt ceea ce numim azi găuri negre, deoarece asta și sunt ele: goluri negre în spațiu.

Câțiva ani mai târziu, un savant francez, marchizul de Laplace, a emis, probabil independent de Michell, o ipoteză similară, inclusă numai în prima și în cea de-a doua ediție a cărții sale *Sistemul lumii*, dar eliminată din edițiile ulterioare. A hotărât, poate, că este o idee stranie — teoria corpusculară a luminii și-a pierdut creditul în decursul secolului al XIX-lea, deoarece se părea că totul putea fi explicat folosind teoria ondulatorie. De fapt, tratarea luminii în termeni de proiectile din teoria lui Newton nu e chiar corectă, deoarece viteza luminii este fixă. Un proiectil tras de pe Pământ în sus va fi încetinit de gravitație și, în cele din urmă, se va opri și va cădea înapoi; un foton va trebui totuși să meargă în sus cu viteză constantă. O teorie coerentă despre modul în care gravitația afectează lumina nu a apărut până ce Einstein nu a elaborat în 1915 teoria generală a relativității. Un tânăr american, Robert Oppenheimer, a lămurit în 1939 ce anume se petrece cu o stea masivă în conformitate cu teoria generală a relativității.

Imaginea pe care o avem acum pornind de la lucrarea lui Oppenheimer este următoarea: Câmpul gravitațional al stelei modifică traiectoriile razelor de lumină din spațiul-timp în raport cu traiectoriile lor în cazul în care steaua nu ar fi existat. Acesta este efectul care se constată prin curbarea razelor de lumină provenite de la stelele îndepărtate, observat în timpul unei eclipse de Soare. Traiectoriile urmate de razele de lumină în spațiu și timp sunt ușor curbate spre suprafața stelei. Pe măsură ce steaua se contractă, ea devine mai densă, astfel încât câmpul gravitațional la suprafața ei devine mai puternic. (Puteți concepe câmpul gravitațional ca emanând dintr-un punct aflat în centrul stelei; odată cu contracția stelei, punctele de pe suprafața ei se apropie de centru, astfel că ele simt un câmp mai intens.) Câmpul mai intens face ca traiectoriile luminii din apropierea suprafeței să fie și mai mult curbate spre interior. În cele din urmă, atunci când steaua s-a restrâns până la o anumită rază critică, gravitația la suprafața ei devine atât de puternică încât traiectoriile razelor de lumină sunt foarte curbate spre interior, iar lumina nu mai poate scăpa spre exterior.

Conform teoriei relativității, nimic nu se poate deplasa cu o viteză mai mare decât viteza luminii. Așadar, dacă lumina nu poate scăpa, nimic altceva nu mai poate scăpa; totul este tras înapoi de câmpul gravitațional. Steaua colapsată formează în jurul său o regiune a spațiului-timp din care nimic nu poate scăpa pentru a ajunge la vreun observator aflat la distanță. Această regiune este gaura neagră. Granița externă a găurii negre se numește orizontul evenimentelor. Datorită telescopului spațial Hubble și altor telescoape care se focalizează pe raze X și gama în loc de lumina vizibilă, noi știm acum că găurile negre sunt fenomene comune — mult mai frecvente decât s-a crezut la început. Un satelit a descoperit o mie cinci sute de găuri negre numai într-o singură regiune restrânsă a cerului. Am mai descoperit o gaură neagră în centrul galaxiei noastre, cu o masă mai mare de un milion

de ori decât masa Soarelui nostru. În jurul acestei găuri negre supermasive există o stea care se rotește cu o viteză de circa doi la sută din viteza luminii, adică de două ori mai repede decât viteza medie cu care un electron se rotește în jurul nucleului dintr-un atom!

Pentru a înțelege ce ați vedea dacă ați privi cum o stea masivă colapsează formând o gaură neagră, trebuie să ne amintim că în teoria relativității nu există timp absolut. Cu alte cuvinte, fiecare observator are propria sa măsură a timpului. Trecerea timpului pentru cineva aflat pe suprafața stelei va fi diferită de cea a observatorului aflat la distanță, deoarece câmpul gravitațional este mai intens la suprafața stelei.

Să presupunem că un astronaut temerar se află pe suprafața unei stele care colapsează și rămâne pe suprafață în cursul contractării stelei. La un anumit moment indicat de ceasul său — de pildă, ora 11:00, — steaua s-ar reduce, ajungând sub raza critică de la care câmpul gravitațional începe să fie atât de puternic încât nimic nu mai poate scăpa de acolo. Să mai presupunem acum că astronautul are instrucțiuni ca, urmărind indicațiile ceasului, să transmită câte un semnal pe secundă către o navă aflată sus, orbitând la o distanță fixă față de centrul stelei. El începe să transmită la ora 10:59:58, adică la două secunde înainte de 11:00. Ce vor înregistra colegii săi de pe astronavă?

Din experimentul nostru mintal anterior de la bordul rachetei, am aflat că gravitația încetinește timpul și că, atunci când gravitația este tot mai puternică, efectul este tot mai mare. Astronautul de pe stea se află într-un câmp gravitațional mai intens decât colegii săi de pe orbită, astfel încât ceea ce pentru el este o secundă, va fi mai mult decât o secundă pentru ceasurile acestora din urmă. Iar, pe măsură ce astronautul urmează colapsul stelei, câmpul pe care îl simte va deveni din ce în ce mai intens, astfel încât intervalul dintre semnalele lui va apărea tot mai lung pentru cei de pe nava spațială. Această dilatare a timpului va fi foarte mică înainte

de ora 10:59:59, astfel că astronauții de pe orbită vor trebui să aștepte doar cu puțin mai mult decât o secundă între semnalul de la ora 10:59:58 și cel trimis atunci când ceasul astronautului arăta ora 10:59:59. Astronauții de pe orbită vor trebui însă să aștepte la nesfârșit semnalul de la ora 11:00.

Tot ce se întâmplă pe suprafața stelei între 10:59:59 și 11:00 (după ceasul astronautului) va fi răspândit pe o perioadă infinită de timp, din perspectiva celor de pe nava spațială. Pe măsură ce se apropie ora 11:00, intervalul de timp dintre două creste sau văi succesive ale oricărui fel de lumină de la stea devin din ce în ce mai mari, întocmai ca intervalul dintre semnalele astronautului. Deoarece frecvența luminii este o măsură a numărului de creste și văi pe secundă, celor din nava spațială frecvența luminii de la stea le apare tot mai joasă. Așadar, lumina stelei le apare tot mai roșie (și tot mai slabă). În cele din urmă, steaua ar deveni atât de palidă, încât nu s-ar mai putea vedea de pe navă: tot ceea ce mai rămâne e o gaură neagră în spațiu. Steaua ar continua totuși să exercite aceeași forță gravitațională asupra navei spațiale, care ar continua să orbiteze. Scenariul de mai sus nu este totuși în întregime realist, iar aceasta din următorul motiv. Gravitația devine cu atât mai slabă cu cât ești mai departe de stea, astfel încât forța gravitațională acționând asupra picioarelor astronautului nostru temerar va fi totdeauna mai mare decât forța de la nivelul capului. Diferența dintre aceste forțe îl va întinde pe astronaut ca pe niște spaghete sau îl va rupe în bucăți încă înainte ca steaua să se contracte până la raza critică la care se formează orizontul evenimentelor! Noi credem însă că există obiecte mult mai mari în univers, așa cum sunt regiunile centrale ale galaxiilor, care pot și ele colapsa gravitațional, dând naștere unor găuri negre precum gaura neagră supermasivă situată în centrul galaxiei noastre. Un astronaut aflat pe una dintre aceste găuri negre nu ar putea fi rupt în bucăți înainte de formarea găurii negre. El nu ar simți, de fapt, nimic deosebit la atingerea razei critice și ar putea de-

FORȚELE MAREMOTRICE

Deoarece gravitația scade cu distanța, Pământul vă atrage capul cu o forță mai mică decât atrage picioarele, care sunt cu un metru sau doi mai aproape de centrul Pământului. Diferența este atât de mică, încât nu o putem simți, dar un astronaut situat aproape de suprafața unei găuri negre ar fi literalmente rupt în bucăți.

păși punctul dincolo de care nu există întoarcere fără măcar să observe — deși, pentru cei din afară, intervalul dintre semnale va deveni și în acest caz din ce în ce mai lung, pentru ca, în cele din urmă, semnalele să înceteze. Iar după câteva ore (așa cum sunt ele cronometrate de astronaut), pe măsură ce regiunea continuă să colapseze, diferența dintre forțele

gravitaționale de la cap și cele de la picioare va deveni atât de puternică, încât el va fi rupt în bucăți.

Uneori, atunci când o stea foarte masivă colapsează, regiunile exterioare ale stelei pot fi azvârlite în exterior printr-o explozie imensă, numită supernovă. O explozie de supernovă este atât de mare, încât poate genera mai multă lumină decât toate celelalte stele ale galaxiei respective la un loc. Un exemplu în acest sens îl constituie supernova ale cărei resturi le vedem azi în Nebuloasa Crabului. Chinezii au înregistrat-o în anul 1054. Deși steaua care a explodat este la cinci mii de ani-lumină depărtare, ea a devenit vizibilă cu ochiul liber luni de-a rândul, strălucind atât de puternic încât se putea vedea și ziua, iar noaptea se putea citi la lumina ei. O supernovă la distanța de cinci sute de ani-lumină — o zecime din distanța până la Nebuloasa Crabului — ar fi de o sută de ori mai luminoasă și ar putea preface literalmente noaptea în zi. Pentru a înțelege violența unei astfel de explozii, considerați numai faptul că lumina ei ar concura lumina Soarelui, chiar dacă steaua este de zeci de milioane de ori mai departe decât Soarele. (Amintiți-vă că Soarele nostru se află în apropiere, la distanța de opt minute-lumină.) Dacă o supernovă ar fi să fie destul de aproape, ea ar putea lăsa Pământul intact, dar ar emite suficientă radiație încât să ucidă toate ființele vii. De fapt, s-a emis recent ipoteza că moartea organismelor marine care a avut loc cândva între pleistocen și pliocen, cu circa două milioane de ani în urmă, ar fi fost provocată de radiația cosmică provenită de la o supernovă din îngrămădirea de stele numită Scorpius-Centaurus, situată în vecinătate. Unii oameni de știință cred că viața avansată poate să evolueze numai în astfel de regiuni ale galaxiilor în care nu sunt prea multe stele — „zone de viață" — deoarece în regiuni mai dense fenomene ca supernovele ar fi suficient de frecvente încât să înăbușe în mod regulat orice începuturi de evoluție. În medie, sute de mii de supernove explodează în fiecare zi în univers. Într-o galaxie dată, o supernovă apare

circa o dată pe secol. Dar aceasta e doar media. Din nefericire — pentru astronomi, cel puțin — în Calea Lactee ultima supernovă a fost înregistrată în 1604, înainte de inventarea telescopului.

Candidatul cu cele mai mari șanse pentru următoarea explozie de supernovă din galaxia noastră este o stea numită Rho Casiopeiae. Din fericire, această stea este la distanța sigură și confortabilă de zece mii de ani-lumină de noi. Ea face parte din clasa stelelor cunoscute ca hipergigante galbene, una dintre cele doar șapte hipergigante galbene din Calea Lactee. O echipă internațională de astronomi a început să studieze steaua din 1993. În următorii ani, ei au observat că trece prin fluctuații periodice de temperatură de câteva sute de grade. Apoi, în vara lui 2000, temperatura stelei a scăzut brusc de la circa 7 000 la 4 000 de grade Celsius. Concomitent, astronomii au detectat în atmosfera stelei oxid de titaniu, despre care ei cred că formează o parte a stratului extern, aruncat în afara stelei de o undă de șoc foarte puternică.

În cazul unei supernove, unele dintre elementele mai grele produse către sfârșitul vieții astrului sunt aruncate înapoi în galaxie, oferind astfel o parte din materialul de construcție pentru următoarea generație de stele. Soarele nostru conține circa două procente din aceste elemente mai grele. El este o stea din generația a doua sau a treia, formată cu circa cinci miliarde de ani în urmă dintr-un nor de gaz aflat în rotație, conținând rămășițe ale supernovei anterioare. Cea mai mare parte a gazului din acest nor a intrat în compoziția Soarelui sau a fost azvârlită în afară, dar mici cantități din elementele mai grele s-au adunat laolaltă și au format corpurile care se rotesc acum în jurul Soarelui — planetele între care se numără și Pământul. Aurul din bijuteriile noastre și uraniul din reactoarele noastre sunt rămășițe ale supernovelor care s-au produs înainte ca sistemul nostru solar să se fi născut!

Pe când Pământul era de curând condensat, era foarte fierbinte și lipsit de atmosferă. În decursul timpului, el s-a

răcit și a dobândit o atmosferă din emisiile de gaz din roci. Această atmosferă timpurie nu era una în care noi să fi putut supraviețui. Ea nu conținea oxigen, ci multe alte gaze care sunt otrăvitoare pentru noi, cum ar fi hidrogenul sulfurat (gazul care dă ouălor stricate mirosul specific). Există totuși forme primitive de viață care se pot dezvolta în astfel de condiții. Se crede că ele au apărut în oceane, poate datorită combinațiilor întâmplătoare ale atomilor în structuri mari, numite macromolecule, care erau capabile să asambleze alți atomi din ocean în structuri asemănătoare. Acestea s-ar fi reprodus pe sine și s-ar fi înmulțit. În anumite cazuri, puteau apărea erori în reproducere. Cele mai multe erori făceau ca noile macromolecule să nu se poată reproduce și să fie în cele din urmă distruse. Dar câteva dintre erori produceau noi macromolecule care reușeau chiar mai bine să se autoreproducă. Ele aveau deci un avantaj asupra macromoleculelor inițiale și tindeau să le înlocuiască. În acest fel, a început un proces de evoluție care a dus la dezvoltarea unor organisme autoreproducătoare din ce în ce mai complicate. Primele forme primitive de viață consumau diferite materiale, între care hidrogenul sulfurat, și eliberau oxigen. Acest fapt a modificat treptat atmosfera până la compoziția pe care o are ea astăzi și a permis dezvoltarea unor forme mai avansate de viață, cum ar fi peștii, reptilele, mamiferele și, în cele din urmă, rasa umană.

Secolul XX a fost acela al transformării imaginii omului despre univers: am înțeles cât de neînsemnată e propria noastră planetă în vastitatea universului și am descoperit că timpul și spațiul sunt curbate și inseparabile, că universul se extinde și că a avut un început în timp.

Imaginea unui univers al cărui început a fost foarte fierbinte și care s-a răcit pe măsură ce s-a extins se bazează pe teoria gravitației a lui Einstein, relativitatea generală. Faptul că ea este confirmată de toate rezultatele experimentale de care dispunem astăzi constituie un mare triumf pentru această teorie. Și totuși, pentru că matematica nu poate opera cu numere infinite, prin faptul că prezice că universul a început cu big bang-ul (acel moment în care densitatea universului și curbura spațiului-timp erau infinite), teoria generală a relativității conduce la existența unui punct în univers în care însăși teoria se prăbușește, sau eșuează. Un atare punct constituie un exemplu pentru ceea ce matematicienii numesc singularitate. Atunci când o teorie prezice singularități, cum ar fi densitatea și curbura infinite, ele sunt un indiciu că teoria trebuie cumva modificată. Relativitatea generală este deci o teorie incompletă, deoarece nu ne poate spune cum a început universul.

În plus față de relativitatea generală, secolul XX a mai născocit și mecanica cuantică, o altă mare teorie a naturii. Această teorie se ocupă de fenomenele care au loc la o scară foarte mică. Imaginea noastră despre big bang ne arată că, în universul timpuriu, a trebuit să existe un timp când universul a fost atât de mic încât, chiar și atunci când îi studiem structura la scară mare, efectele la scară mică ale mecanicii cuantice nu mai pot fi ignorate. În capitolul următor vom vedea că cea mai mare speranță de a dobândi o înțelegere completă a universului de la început la sfârșit se leagă de combinarea acestor două teorii parțiale într-o singură teorie cuantică a gravitației, teorie în care legile obișnuite ale științei să fie valabile peste tot, inclusiv la începutul timpului, fără necesitatea ca acolo să existe vreo singularitate.

9
Gravitația cuantică

Succesul teoriilor științifice, în special succesul teoriei gravitației a lui Newton, l-a determinat pe marchizul de Laplace să afirme la începutul secolului al XIX-lea că universul este complet determinist. Laplace credea că trebuie să existe un set de legi științifice care ne-ar putea permite — cel puțin în principiu — să prezicem tot ce se va întâmpla în univers. Singurele date necesare pentru aplicarea acestor legi sunt cele care descriu starea completă a universului la un moment oarecare de timp. Aceasta se numește condiție inițială sau condiție la limită. (Ceea ce poate să însemne o limită în spațiu sau timp; o condiție la limită în spațiu este starea universului la limita sa exterioară — dacă așa ceva există.) După cum credea Laplace, întemeindu-ne pe setul complet de legi și pe condiții inițiale sau la limită adecvate, ar trebui să putem calcula starea completă a universului la orice moment al acestuia.

Cerința de a cunoaște condițiile inițiale este probabil evidentă intuitiv: diferitele stări de lucruri din prezent vor duce în mod firesc la stări viitoare diferite. Necesitatea condițiilor la limită în spațiu este ceva mai subtilă, dar principiul este același. Ecuațiile pe care se bazează teoriile fizice pot în general avea soluții foarte diferite, iar, pentru a decide ce soluție se aplică, este nevoie să vă bazați pe condițiile inițiale sau la limită. Este, într-un fel, totuna cu a spune că suma din contul dumneavoastră bancar are multe depuneri și plăți. Faptul că veți sfârși prin faliment sau bogat depinde nu numai

de sumele intrate și ieșite, ci și de condiția la limită sau inițială: cât de mare era la început suma din cont.

Dacă Laplace ar avea dreptate, atunci, dată fiind starea universului în prezent, aceste legi ar trebui să ne spună care a fost starea universului în trecut și care va fi în viitor. De exemplu, fiind date pozițiile și vitezele Soarelui și ale planetelor, putem folosi legile lui Newton pentru a calcula starea sistemului solar în orice moment din viitor sau din trecut. Determinismul pare destul de evident în cazul planetelor — la urma urmei, astronomii sunt foarte precișii în prezicerea unor evenimente cum ar fi eclipsele. Dar Laplace a mers mai departe, susținând că există legi similare guvernând absolut totul, inclusiv comportamentul oamenilor.

Este oare realmente posibil ca savanții să calculeze care vor fi acțiunile noastre în viitor? Un pahar de apă conține mai mult de 10^{24} molecule (adică 1 urmat de douăzeci și patru de zerouri). În practică, nu putem spera niciodată să cunoaștem starea fiecăreia dintre aceste molecule și cu atât mai puțin starea completă a universului sau a propriului nostru corp. Dar a spune că universul este determinist este același lucru cu a afirma că viitorul nostru e totuși predeterminat, chiar dacă nu avem capacitatea cerebrală de a efectua calculele necesare.

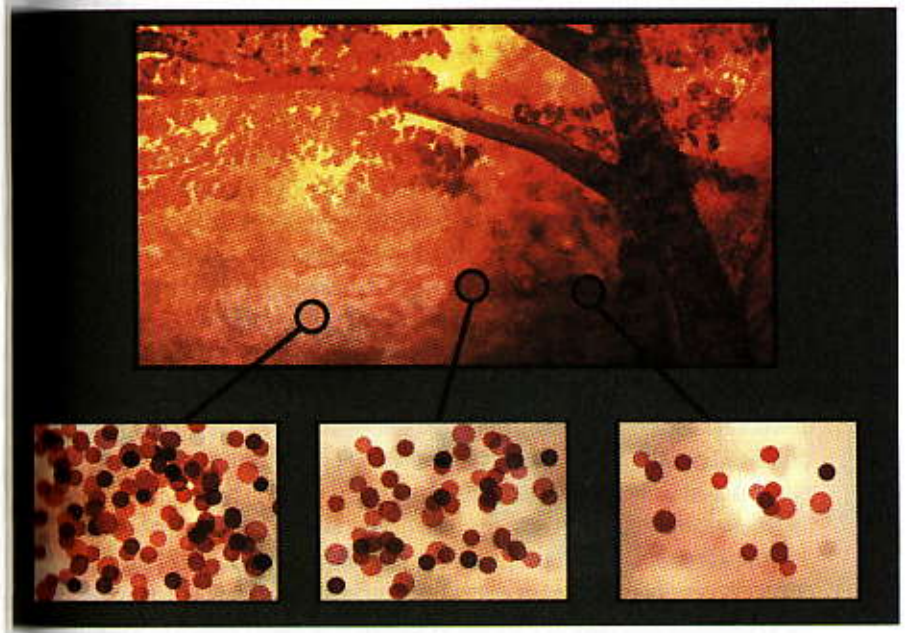
Această doctrină a determinismului științific a fost respinsă cu fermitate de mulți oameni, care au simțit că astfel s-ar încălca libertatea lui Dumnezeu de a conduce lumea pe calea pe care El o găsește potrivită. Și totuși aceasta a rămas presupunerea standard a științei până în primii ani ai secolului XX. Unul din primele indicii că această convingere trebuie abandonată a apărut atunci când savanții britanici lordul Rayleigh și sir James Jeans au calculat cantitatea de radiație a corpului negru pe care trebuie s-o emită un obiect fierbinte, cum ar fi o stea. (Așa cum am arătat în Capitolul 7, orice corp material degajă radiație — radiația corpului negru — atunci dacă e încălzit.)

Conform legilor pe care ne bazam în acel timp, un corp fierbinte trebuia să emită unde electromagnetice în mod egal la toate frecvențele. Dacă așa ar fi stat lucrurile, atunci corpul ar fi trebuit să radieze aceeași cantitate de energie la fiecare culoare a spectrului de lumină vizibilă, precum și la toate frecvențele de microunde, unde radio, raze X ș. a. m. d. Amintiți-vă că frecvența unei unde este numărul care arată de câte ori oscilează unda în sus și în jos pe secundă, adică numărul de unde pe secundă. Din punct de vedere matematic, dacă un corp fierbinte emite unde în mod egal la toate frecvențele, aceasta înseamnă că el trebuie să radieze aceeași cantitate de energie prin undele cu frecvențe în intervalul dintre zero și un milion de unde pe secundă, ca și în intervalul dintre un milion și două milioane pe secundă, dintre două și trei milioane pe secundă etc., mergând tot așa la nesfârșit. Să presupunem că prin undele cu frecvențele cuprinse în intervalul dintre zero și un milion de unde pe secundă este radiată o unitate de energie, la fel ca și prin undele din intervalul dintre un milion și două milioane etc. Cantitatea totală de energie radiată la toate frecvențele va fi atunci suma 1 plus 1 plus 1 plus ..., mergând așa la nesfârșit. Deoarece numărul de unde pe secundă dintr-o undă este nelimitat, suma energiilor este nesfârșită. Conform acestui raționament, totalul energiei radiate trebuie să fie infinit.

Pentru a evita acest rezultat care era în mod clar ridicol, fizicianul german Max Planck a propus în 1900 ipoteza că lumina, razele X și celelalte unde electromagnetice pot fi emise numai în pachete discrete, pe care le-a numit cuante. După cum am menționat în Capitolul 8, azi numim cuanta de lumină foton. Cu cât este mai mare frecvența fotonului, cu atât este mai mare energia sa. Prin urmare, deși fotonii oricărei culori sau frecvențe date sunt toți identici, teoria lui Planck afirmă că fotonii de frecvențe diferite sunt diferiți prin aceea că posedă energii diferite. Aceasta înseamnă că, în teoria cuantică, cea mai slabă lumină dintr-o culoare dată — lumina

purtată de un singur foton — are o cantitate de energie care depinde de culoarea luminii. De exemplu, deoarece lumina violetă are frecvența de două ori mai mare decât lumina roșie, o cuantă de lumină violetă are un conținut de energie de două ori mai mare decât acela al cuantei de lumină roșie. Așadar, cel mai mic fragment posibil de lumină violetă are de două ori mai multă energie decât cel mai mic fragment posibil de lumină roșie.

Cum rezolvă asta problema corpului negru? Cantitatea cea mai mică de energie electromagnetică pe care o poate emite la o frecvență dată un corp negru este aceea purtată de un



CEA MAI SLABĂ LUMINĂ POSIBILĂ

Lumină slabă înseamnă mai puțini fotoni. Lumina cea mai slabă cu putință, de orice culoare, este lumina purtată de un singur foton.

singur foton având această frecvență. Energia unui foton este mai mare la frecvențe mai înalte. Deci energia cea mai mică pe care o poate emite un corp negru este mai mare la frecvențe mai mari. Dar, la frecvențe suficient de mari, cantitatea de energie, fie și dintr-o singură cuantă, ar fi mai mare decât energia pe care o are corpul la dispoziție, caz în care nu se va emite lumină, punându-se astfel capăt sumei fără sfârșit prezentate înainte. Așadar, în teoria lui Planck, radiația la frecvențe înalte va fi redusă, astfel că rata pierderii de energie va fi finită, rezolvând problema corpului negru.

Ipoteza cuantică explica foarte bine rata de emisie a radiației de la corpul negru încins determinată experimental, dar implicația acesteia în problema determinismului nu a fost înțeleasă până în 1926, când un alt savant german, Werner Heisenberg, a formulat celebrul principiu de incertitudine.

Contrar convingerii lui Laplace, principiul de incertitudine al lui Heisenberg ne spune că natura impune limite capacității noastre de a prezice viitorul folosind legea științifică. Iar aceasta deoarece, pentru a prezice poziția și viteza viitoare a unei particule, trebuie să putem măsura cu precizie starea ei inițială — adică poziția și viteza ei. Calea firească de a face acest lucru este de a proiecta lumină pe particulă. Unele unde de lumină vor fi împrăștiate de particulă. Ele vor putea fi detectate de observator și vor indica poziția particulei. Dar lumina de o lungime de undă dată are doar o sensibilitate limitată și nu veți reuși să determinați poziția unei particule cu o precizie mai mare decât distanța dintre crestele undelor. Deci, pentru a măsura precis poziția unei particule, este necesar să se folosească lumină cu o lungime de undă mică, adică de frecvență ridicată. Însă, ca urmare a ipotezei cuantice a lui Planck, nu se poate folosi o cantitate arbitrar de mică de lumină, ci va trebui să folosiți cel puțin o cuantă, a cărei energie este mai mare la frecvențe mai mari. Prin urmare, cu cât doriți să măsurați mai precis poziția unei particule, cu atât este mai mare energia cuantei de lumină cu care trebuie să o loviți.

Conform teoriei cuantice, chiar și o singură particulă de lumină va perturba particula studiată, schimbându-i imprevizibil viteza. Și cu cât mai multă energie are cuanta de lumină pe care o folosiți, cu atât mai mare este perturbația corespunzătoare. Aceasta înseamnă că pentru măsurători mai precise ale poziției, atunci când veți folosi cuante cu energie mai mare, viteza particulei va fi perturbată cu o cantitate mai mare. Așadar, cu cât veți încerca să măsurați mai precis poziția unei particule, cu atât îi veți putea măsura mai puțin precis viteza și reciproc. Heisenberg a arătat că incertitudinea în poziția unei particule înmulțită cu incertitudinea în viteza ei și cu masa acesteia nu poate fi niciodată mai mică decât o anumită cantitate fixă. Ceea ce înseamnă că, de exemplu, dacă înjumătățiți incertitudinea în poziție, atunci incertitudinea în viteză se dublează. Natura ne constrânge pe veci să facem acest târg.

Cât de rău stau lucrurile? Răspunsul depinde de valoarea numerică a acelei „anumite cantități fixe" menționate anterior. Ea este cunoscută sub numele de constanta lui Planck și este un număr minuscul. Deoarece constanta lui Planck este atât de mică, efectele târgului, ca și cele ale teoriei cuantice în general, la fel ca efectele relativității, nu sunt observabile direct în viața noastră de fiecare zi. (Totuși, teoria cuantică ne influențează viața — pe ea se întemeiază domenii cum ar fi, de pildă, electronica modernă*.) Dacă, de exemplu, fixăm poziția unei mingi de ping-pong cu masa de un gram cu marja de un centimetru împrejur, atunci putem să-i determinăm viteza până la o precizie cu mult mai mare decât am avea vreodată nevoie. Dar dacă măsurăm poziția unui electron cu aproximația de ordinul dimensiunilor atomului, atunci nu îi putem cunoaște viteza mai precis decât plus sau

* Viața însăși se bazează pe mecanica cuantică, schimburile de electroni și de ioni din procesele biologice fiind guvernate de legi cuantice. (*N. t.*)

minus circa o mie de kilometri pe secundă, ceea ce nu este deloc precis.

Limita dictată de principiul de incertitudine nu depinde de metoda prin care încercați să măsurați poziția sau viteza particulei, sau de tipul acesteia. Principiul de incertitudine al lui Heisenberg este o proprietate fundamentală, intrinsecă a lumii și are consecințe profunde asupra modului în care privim lumea. Chiar și după mai bine de șaptezeci de ani, aceste consecințe nu au fost încă pe deplin înțelese de mulți filozofi, constituind încă subiect de controverse. Principiul de incertitudine a marcat destrămarea visului lui Laplace de a avea o teorie științifică, un model al universului care să fie complet determinist. Dacă nu suntem în stare să măsurăm precis nici măcar starea prezentă a universului, este cert că nu putem prezice exact evenimentele viitoare!

Ne putem totuși imagina că, pentru vreo ființă supranaturală care, spre deosebire de noi, ar putea observa starea prezentă a universului fără să-l disturbe, există un set de legi care să determine complet mersul evenimentelor. Dar asemenea modele ale universului nu prezintă prea mare interes pentru noi, muritorii de rând. Pare mai acceptabil să folosim principiul economiei, îndeobște cunoscut sub numele de briciul lui Occam, și să retezăm cu el toate caracteristicile teoriei care nu pot fi observate. Acest demers i-a condus pe Heisenberg, Erwin Schrödinger și Paul Dirac să reformuleze în anii 1920 mecanica lui Newton printr-o teorie nouă, numită mecanica cuantică, bazată pe principiul de incertitudine. În această teorie, particulele nu mai au separat poziții și viteze bine definite. În locul lor, ele au o stare cuantică, adică o combinație a poziției și vitezei definită numai între limitele principiului de incertitudine.

Una dintre caracteristicile revoluționare ale mecanicii cuantice este că, pentru o observație dată, ea nu prezice un singur rezultat definit. În schimb, mecanica cuantică prezice un anumit număr de rezultate posibile, diferite între ele,

precizând și cât de probabil este fiecare dintre ele. Adică, dacă efectuați aceeași măsurătoare pe un număr mare de sisteme similare, toate pornind din aceeași situație, veți vedea că rezultatul măsurătorii va fi A în anumite cazuri, B într-alt număr de cazuri ș. a. m. d. Puteți prezice numărul aproximativ de ori în care rezultatul va fi A sau B, dar nu veți putea prezice rezultatul unei măsurători individuale.

Să presupunem că jucați dart*. Conform teoriilor clasice — adică al celor vechi, necuantice — săgeata fie se va înfige în ochiul taurului, fie îl va rata. Și, dacă știți viteza săgeții în momentul în care o aruncați, precum și acțiunea gravitației și a altor factori de acest fel, veți putea calcula dacă nimeriți ochiul sau dacă eșuați. Dar teoria cuantică ne spune că o asemenea abordare este greșită și că nu putem avea certitudini. În schimb, conform teoriei cuantice, există o anumită probabilitate ca săgeata să nimerească ochiul și o probabilitate diferită de zero ca aceasta să atingă orice altă parte dată a țintei. Pentru un obiect atât de mare cum este săgeata, dacă teoria clasică — în acest caz, legile lui Newton — spune că săgeata va lovi centrul, puteți fi siguri că va fi așa. Cel puțin, șansele de a rata (conform teoriei cuantice) sunt atât de mici, încât, dacă veți continua să tot aruncați săgeata exact în același fel până la sfârșitul universului, este probabil că nu veți vedea niciodată săgeata ratând ochiul taurului. Dar, la scară atomică, altfel stau lucrurile. O săgeată constând dintr-un singur atom poate avea 90 la sută probabilitatea de a lovi ochiul, 5 la sută de a nimeri în altă parte a panoului și alte 5 procente probabilitatea de a-l rata complet. Și nu veți ști dinainte care dintre aceste cazuri va apărea. Tot ce puteți spune este că, dacă veți repeta experimentul de multe ori, vă puteți

* Este vorba despre jocul în care se aruncă cu mâna mici săgeți care se înfig într-un panou. Punctul central al țintei poartă numele de „ochi de taur". (*N. t.*)

POZIȚIE CUANTICĂ IMPRECISĂ

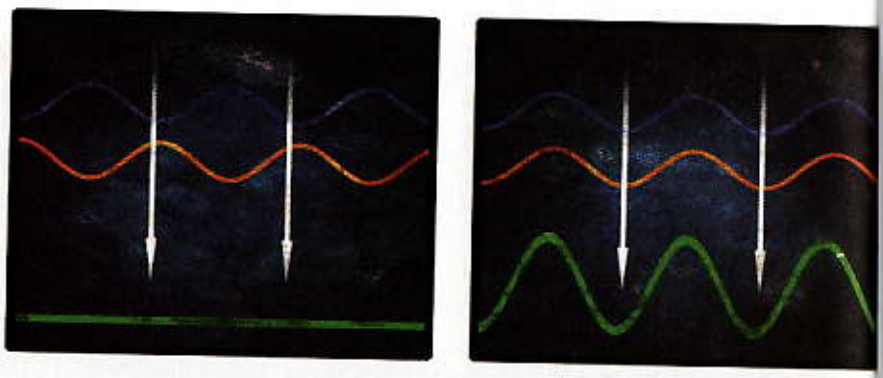
Conform teorei cuantice, nu putem fixa poziția și viteza unui obiect cu precizie infinită și nici nu putem prezice cu exactitate cursul evenimentelor ulterioare.

aștepta ca, în medie, în nouăzeci dintr-o sută de repetări ale experimentului săgeata să lovească ochiul.

Mecanica cuantică introduce deci un element inevitabil de nedeterminare sau de întâmplare în știință. La aceasta Einstein a obiectat vehement, în pofida rolului său foarte important în dezvoltarea acestor idei. De fapt, el a primit Premiul Nobel tocmai pentru contribuția sa la teoria cuantică. Totuși, Einstein nu a acceptat niciodată că universul ar fi guvernat de întâmplare; simțămintele i-au fost rezumate în faimosul său dicton „Dumnezeu nu joacă zaruri".

Testul pentru o teorie științifică este, așa cum am spus, capacitatea de a prezice rezultatele unui experiment. Teoria cuantică limitează această capacitate. Înseamnă aceasta că teoria cuantică limitează știința? Dacă rostul științei este să progreseze, atunci calea pe care o avem de urmat trebuie să fie dictată de natură. În acest caz, natura însăși ne cere să redefinim înțelesul predicției: deși nu putem prezice exact rezultatul unui experiment, îl putem repeta de mai multe ori și confirma în acest fel că diferitele rezultate posibile se așază în marja probabilităților prezise de teoria cuantică. În pofida principiului de incertitudine, nu trebuie să renunțăm la ideea unei lumi guvernate de legi fizice. În realitate, până la urmă, cei mai mulți oameni de știință au fost dispuși să accepte mecanica cuantică tocmai deoarece ea concordă perfect cu experimentul.

Una dintre cele mai importante implicații ale principiului de incertitudine al lui Heisenberg este aceea că particulele se comportă în anumite privințe ca undele. Așa cum am văzut, particulele nu au o poziție bine definită, ci sunt „împrăștiate" cu o anumită probabilitate de distribuție. Pe de altă parte, deși lumina este alcătuită din unde, ipoteza cuantică a lui Planck ne mai spune că, într-un anume sens, lumina se comportă ca și cum ar fi compusă din particule: ea poate fi emisă sau absorbită doar în pachete, sau cuante. De fapt, teoria mecanicii cuantice este bazată pe un tip complet nou de matematică, prin care nu se mai descrie lumea reală în termeni de particule sau în termeni de unde. Pentru anumite scopuri, este folositor să concepi particulele ca unde, iar pentru altele, să concepi undele ca particule, dar asemenea perspective nu au alt rost decât să ne ușureze descrierea. Acesta e înțelesul dualității undă/particulă din mecanica cuantică, despre care vorbesc fizicienii.



ÎN FAZĂ ŞI ÎN OPOZIŢIE DE FAZĂ

Dacă văile unei unde coincid cu crestele celeilalte, atunci cele două unde se anihilează reciproc, iar dacă există o coincidenţă între crestele şi văile uneia cu crestele, respectiv văile celeilalte, atunci rezultatul este o undă mai puternică.

O consecinţă importantă a comportării ondulatorii din mecanica cuantică este că putem observa fenomenul numit interferenţă dintre două seturi de particule. În mod normal, interferenţa este concepută ca un fenomen ondulatoriu, care apare la o ciocnire între două unde. Atunci când crestele unui set de unde coincid cu văile celuilalt set, se spune că undele sunt în opoziţie de fază. Dacă acest lucru se întâmplă, cele două seturi de unde se anihilează reciproc, în loc să se adune şi să formeze o undă mai mare, aşa cum ne-am fi putut aştepta. Un exemplu familiar de interferenţă a luminii este reprezentat de culorile văzute deseori la bulele de săpun. Culorile sunt produse de reflecţia luminii pe cele două feţe ale peliculei subţiri de apă care formează bulele. Lumina albă constă din unde de lumină având toate lungimile de undă, sau toate culorile. Pentru anumite lungimi de undă, crestele undelor reflectate de o faţă a peliculei de săpun coincid cu

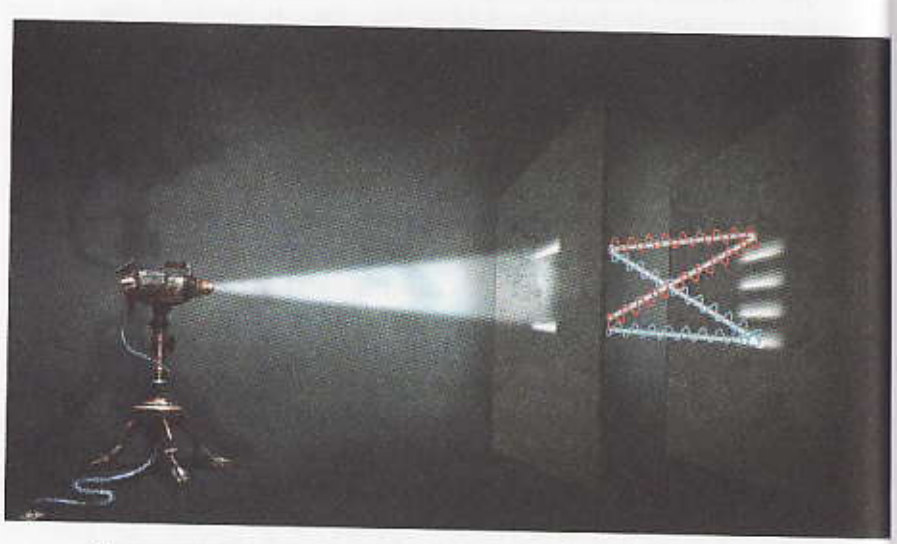
văile reflectate de cealaltă faţă a peliculei. Culorile corespunzând acestor lungimi de undă lipsesc din lumina reflectată, care, prin urmare, se vede colorată.

Dar teoria ne spune, de asemenea, că interferenţa poate avea loc şi pentru particule, datorită dualităţii introduse de mecanica cuantică. Un exemplu faimos în acest sens este aşa-numitul experiment cu două fante. Imaginaţi-vă un ecran — un paravan subţire — cu două tăieturi paralele înguste (fante) practicate în el. Înainte de a lua în considerare ce se petrece atunci când prin acest dispozitiv sunt trimise particule, să examinăm ce se petrece atunci când trimitem acolo lumină. Plasaţi de o parte a ecranului o sursă de lumină de o anumită culoare (adică de o anumită lungime de undă). Cea mai mare parte din lumină va fi oprită de paravan, dar o mică parte va trece prin cele două fante. Să presupunem acum că plasăm un ecran de partea cealaltă a paravanului. Fiecare punct de pe ecran va primi unde de la ambele fante. Totuşi, în general, distanţa pe care o are de străbătut lumina care vine de la o fantă până la un punct dat, diferă de distanţa străbătută de lumina care vine de la cealaltă fantă. Deoarece distanţele parcurse diferă, undele de la cele două fante nu vor fi în fază una cu cealaltă atunci când sosesc în acelaşi punct. În anumite locuri, văile unei unde vor coincide cu crestele celeilalte, iar undele se vor anihila reciproc; în alte locuri, crestele şi văile vor coincide, iar undele se vor întări una pe alta; în fine, în cele mai multe dintre locuri situaţia va fi intermediară. Rezultatul este o figură caracteristică de lumină şi întuneric.

Faptul remarcabil este că veţi obţine exact acelaşi tip de figură dacă înlocuiţi sursa de lumină cu o sursă de particule, cum ar fi electronii care au o viteză definită. (Conform teoriei cuantice, dacă electronii au o viteză definită, atunci undele corespunzătoare de materie au o lungime de undă definită.) Să presupunem că aveţi doar o fantă şi începeţi să bombardaţi cu electroni paravanul. Cei mai mulţi electroni vor fi opriţi de paravan, dar câţiva vor trece prin fantă şi vor ajunge

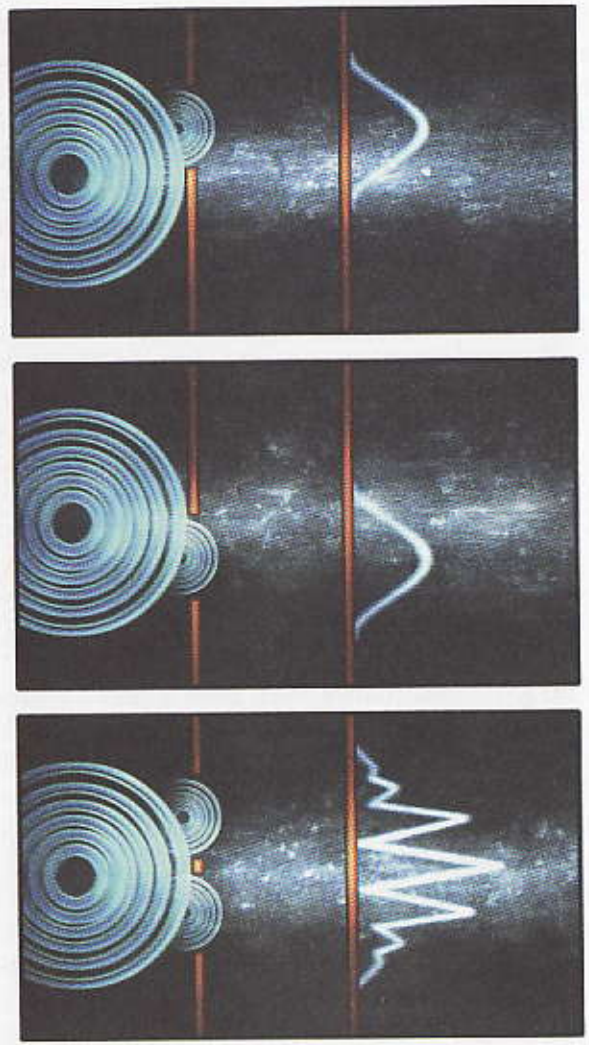
pe ecranul din cealaltă parte. Ar părea logic să presupunem că, deschizând cea de-a doua fantă practicată în paravan, numărul de electroni care va lovi ecranul pur și simplu va crește. Dar, deschizând cea de-a doua fantă, numărul de electroni care lovesc ecranul crește în anumite puncte și scade într-altele, exact ca și când electronii ar interfera așa cum o fac undele, în loc să se comporte ca niște particule. (Vezi ilustrația de la pag. 109.)

Imaginați-vă acum că trimiteți electronii prin fante unul câte unul. Se mai produce interferență? Se poate presupune că fiecare electron trece printr-o fantă sau alta, fără să mai aibă de-a face cu figura de interferență. Totuși, în realitate, chiar și atunci când electronii sunt trimiși unul câte unul,



DISTANȚELE PARCURSE ȘI INTERFERENȚA

În experimentul cu două fante, distanța pe care trebuie să o parcurgă undele care trec prin cele două fante, cea de sus și cea de jos, variază cu înălțimea de pe ecran. Ca rezultat, la unele înălțimi undele se întăresc reciproc, iar la altele, se anihilează, formând astfel o figură de interferență.



INTERFERENȚA ELECTRONILOR

Din cauza interferenței, rezultatul trecerii fasciculului de electroni prin două fante nu corespunde rezultatului trecerii electronilor separat prin fiecare dintre fante, în absența celeilalte.

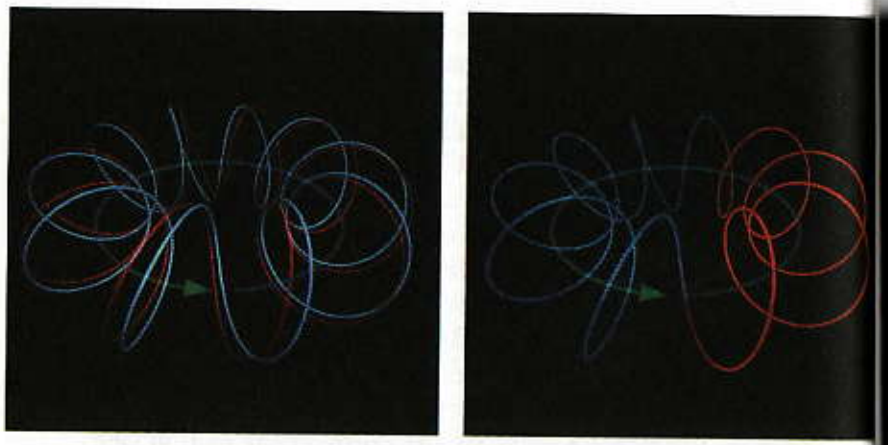
figura de interferență apare în continuare. Prin urmare, fiecare electron trebuie să treacă simultan prin ambele fante și să interfereze cu el însuși!

Fenomenul de interferență dintre particule a fost crucial în înțelegerea structurii atomilor, unitățile de bază din care suntem noi alcătuiți, precum și tot ce ne înconjoară. La începutul secolului XX, se credea că atomii semănau oarecum cu planetele rotindu-se în jurul Soarelui, electronii (particule de electricitate negativă) rotindu-se în jurul unui nucleu central încărcat cu electricitate pozitivă. Se presupunea că atracția dintre electricitatea pozitivă și cea negativă ține electronii în orbită la fel cum interacția gravitațională dintre Soare și planete ține planetele pe orbitele lor. Necazul este că legile clasice ale mecanicii și electricității, anterioare mecanicii cuantice, preziceau că electronii orbitând astfel trebuiau să emită radiații. Acest fapt ar fi trebuit să-i facă să piardă energie și să coboare în spirală până la ciocnirea cu nucleul. Așadar, atomul și întreaga materie ar trebui să colapseze rapid, într-o stare de foarte mare densitate, ceea ce este clar că nu se întâmplă!

În 1913, fizicianul danez Niels Bohr a găsit o soluție parțială pentru această problemă. El a emis ipoteza că electronii nu pot să orbiteze la orice distanță de nucleul central, ci doar la anumite distanțe precise. Presupunând că doar unul sau doi electroni pot orbita la fiecare dintre distanțele specificate, problema colapsului se rezolvă, deoarece odată ce numărul limitat de orbite interne este completat cu electroni, electronii nu mai pot ajunge, deplasându-se în spirală, până la ele. Acest model explica destul de bine structura celui mai simplu atom, atomul de hidrogen, care are doar un singur electron orbitând în jurul nucleului. Nu era clar însă cum trebuie extins modelul la atomi mai complicați. Mai mult, ideea unui set limitat de orbite părea mai curând o găselniță. Era un truc care funcționa matematic, dar nimeni nu știa de ce natura se comportă în acest fel, sau ce lege mai profundă

reprezenta modelul — dacă o asemenea lege exista într-adevăr. Noua teorie a mecanicii cuantice a rezolvat această problemă. Teoria spunea că un electron care orbitează în jurul nucleului poate fi privit ca o undă, a cărei lungime depinde de propria sa viteză. Imaginați-vă unda înconjurând nucleul, așa cum a postulat Bohr. Pentru anumite orbite, circumferința orbitei va corespunde unui număr întreg (în accepțiunea de opus numărului fracționar) de lungimi de undă ale electronului. Pentru astfel de orbite, crestele undelor vor avea aceeași poziție la fiecare tur, astfel încât undele se vor întări reciproc. Ele vor constitui deci orbitele permise ale lui Bohr. În schimb, în cazul orbitelor ale căror circumferințe nu sunt numere întregi ale lungimii de undă, fiecare dintre creste va fi în cele din urmă anihilată de o vale, pe măsură ce electronii se rotesc. Aceste orbite nu vor fi permise. Legea lui Bohr a orbitelor permise și interzise căpăta astfel o explicație.

O modalitate elegantă de a vizualiza dualitatea undă/particulă este așa-numita sumă a istoriilor introdusă de fizicianul american Richard Feynman. În această abordare, se presupune că particula nu are o singură istorie, sau un singur drum în spațiul-timp, așa cum ar avea într-o teorie clasică, necuantică. În schimb, se presupune că particula poate ajunge de la punctul A la B pe orice drum posibil. Feynman asociază fiecărui drum dintre a și B o pereche de numere. Primul reprezintă amplitudinea, adică dimensiunea unei unde. Celălalt reprezintă faza, adică poziția din ciclu (precizând dacă electronul se află pe o creastă, într-o vale, sau undeva între acestea). Probabilitatea ca particula să se deplaseze de la A la B se obține adunând toate undele de pe toate drumurile care unesc pe A cu B. În general, dacă se compară un set de drumuri vecine, fazele (pozițiile) din ciclu sunt foarte diferite. Aceasta înseamnă că undele asociate acestor drumuri se vor anula una pe alta aproape perfect. Totuși, pentru anumite seturi de drumuri învecinate, fazele nu vor varia prea

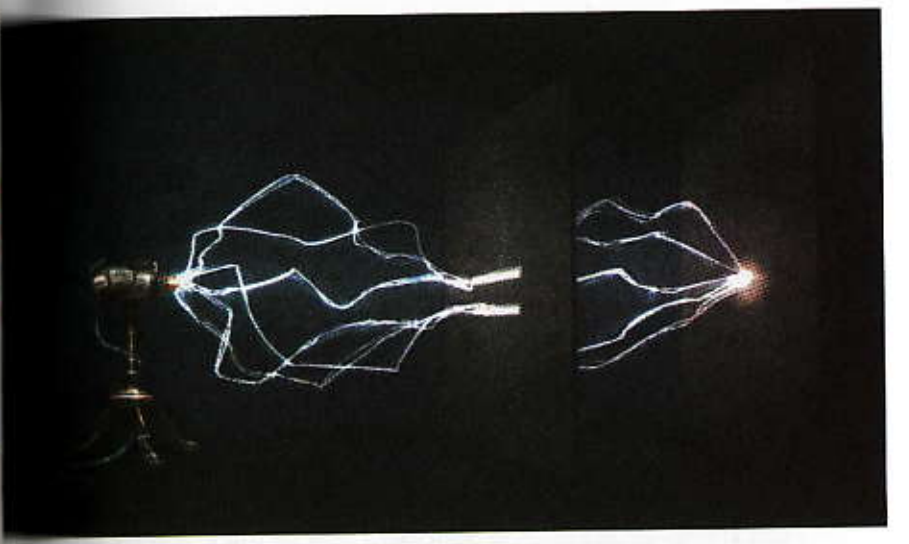


UNDELE ÎN ORBITELE ATOMICE

Niels Bohr și-a imaginat atomul ca pe o undă de electron, înconjurând la nesfârșit nucleul atomic. În această figură, numai orbitele corespunzătoare unui număr întreg de lungimi de undă a electronului pot supraviețui fără interferența distructivă.

mult de la un drum la altul, iar prin urmare, undele corespunzătoare nu se vor anula reciproc. Asemenea drumuri corespund orbitelor Bohr permise.

Odată ce aceste idei capătă o formă matematică concretă, este relativ simplu să se calculeze orbitele permise din atomii și moleculele mai complicate, alcătuite dintr-un număr de atomi ținuți la un loc de electronii din orbite care înconjoară mai mult decât un nucleu. Deoarece structura moleculelor și reacțiile dintre ele stau la baza întregii chimii și biologii, mecanica cuantică ne permite în principiu să prezicem aproape tot ce se întâmplă în jurul nostru, în limitele stabilite de principiul de incertitudine. (Totuși, în practică, nu putem rezolva ecuațiile pentru orice atom, cu excepția celui mai simplu, hidrogenul, care are un singur electron; ca



MAI MULTE DRUMURI ALE ELECTRONULUI

În formularea lui Richard Feynman a mecanicii cuantice, o particulă ca aceasta, care se mișcă de la sursă la ecran, urmează orice drum posibil.

atare, pentru a analiza atomii complecși și moleculele mai complicate, facem apel la aproximații și la calculatoare.)

Teoria cuantică a constituit un succes excepțional, stând în aproape toate cazurile la baza științei și tehnologiei moderne. Ea guvernează comportarea tranzistorilor și a circuitelor integrate, care sunt componente ale aparatelor electronice precum televizoarele și calculatoarele, constituind, de asemenea, baza chimiei și biologiei moderne. Singurele domenii ale științei în care mecanica cuantică nu a fost încă încorporată adecvat sunt gravitația și structura universului la scară mare: așa cum am subliniat mai sus, teoria generală a relativității a lui Einstein nu ia în considerare principiul de incertitudine din mecanica cuantică, așa cum ar trebui de fapt, pentru a o pune de acord cu alte teorii.

După cum am văzut în capitolul precedent, știm deja că relativitatea generală trebuie modificată. Prezicând existența unor puncte de densitate infinită — singularitățile — relativitatea generală clasică (adică necuantică) își prezice propria prăbușire, exact la fel cum mecanica clasică și-a prezis prăbușirea când a sugerat că un corp negru trebuie să radieze energie infinită sau că atomii trebuie să colapseze până la o densitate infinită. Și, la fel ca în cazul mecanicii clasice, sperăm să eliminăm aceste singularități inacceptabile, transformând relativitatea generală clasică într-o teorie cuantică — altfel spus, creând o teorie cuantică a gravitației.

Dacă relativitatea generală este greșită, de ce toate datele experimentale pe care le avem până acum o susțin? Motivul pentru care nu am observat nici o discrepanță față de observații este că toate câmpurile gravitaționale pe care le resimțim în experiența noastră obișnuită sunt foarte slabe. Dar, așa cum am văzut, câmpul gravitațional trebuie să devină foarte puternic atunci când toată materia și energia din univers sunt comprimate într-un volum mic în universul timpuriu. În prezența unor câmpuri atât de intense, efectele teoriei cuantice trebuie să devină importante.

Deși nu avem încă o teorie cuantică a gravitației, cunoaștem un număr de caracteristici pe care aceasta trebuie să le posede. Una este încorporarea procedurii propuse de Feynman pentru formularea teoriei cuantice în termenii sumei de istorii. A doua caracteristică despre care credem că ar trebui să constituie o parte a teoriei finale constă în ideea lui Einstein de a reprezenta câmpul gravitațional prin spațiul-timp curbat. Particulele încearcă să urmeze acea traiectorie din spațiul curb care este cea mai apropiată de linia dreaptă, dar, pentru că spațiul-timp nu este plat, traiectoriile sunt îndoite, ca și cum s-ar afla sub acțiunea unui câmp gravitațional. Atunci când aplicăm suma istoriilor a lui Feynman la viziunea lui Einstein despre gravitație, analogul istoriei unei particule este deci un spațiu-timp curbat care reprezintă istoria întregului univers.

În teoria clasică a gravitației, pentru comportarea universului există numai două căi posibile: fie că universul există de un timp infinit, fie că a început printr-o singularitate apărută în trecut la un moment finit de timp. Din motive pe care le-am discutat mai sus, noi credem că universul nu a existat dintotdeauna. Dar, dacă el a avut un început, atunci, în conformitate cu relativitatea generală clasică, pentru a ști care dintre soluțiile ecuațiilor lui Einstein descrie universul nostru, trebuie să-i cunoaștem starea inițială — adică exact modul cum a început. La origine, s-ar fi putut ca Dumnezeu să fi decretat legile naturii, dar se pare că de atunci El a lăsat lucrurile să evolueze conform celor decretate și nu mai intervine în univers. Dar cum a ales El starea inițială, sau configurația universului? Care au fost condițiile la limită la începutul timpului? În relativitatea generală clasică, aceasta reprezintă o problemă, deoarece teoria generală clasică a relativității devine caducă atunci când abordează începutul universului.

Pe de altă parte, în teoria cuantică a gravitației apare o nouă posibilitate care, dacă se adevărește, va remedia această situație. În teoria cuantică, este posibil ca spațiul-timp să fie finit în extensie și totuși să nu aibă singularități care să formeze o graniță sau o margine. Spațiul-timp ar fi ca suprafața Pământului, dar cu două dimensiuni în plus. După cum am remarcat mai sus, dacă mergeți mereu într-o anumită direcție pe suprafața Pământului, nu vă veți lovi niciodată de vreo barieră de netrecut și nici nu veți cădea peste margine, ci, în cele din urmă, veți reveni în punctul de plecare, fără a întâlni în drum vreo singularitate. Dacă se va dovedi ca așa stau lucrurile, atunci înseamnă că teoria cuantică a gravitației a deschis o nouă perspectivă, fără singularități la care legile științei să fie caduce.

Dacă spațiul-timp nu are granițe, atunci nu este nevoie să se specifice comportarea lui la granițe — și nici să se cunoască

starea inițială a universului. Nu există o margine a spațiului-timp pentru care să facem apel la Dumnezeu, sau la vreo lege nouă pentru a fixa condițiile la limită ale spațiului-timp. Am putea spune: „Condiția la limită a universului este că universul nu are limită." Universul s-ar autoconține perfect pe sine și nu ar fi afectat de nimic din afara lui. El pur și simplu ar EXISTA. Atâta timp cât noi credeam că universul are un început, rolul creatorului părea clar. Dar, dacă universul este realmente complet autoconținut, neavând limite sau margini, neavând nici început, nici sfârșit, atunci răspunsul la întrebarea care este rolul creatorului nu mai apare atât de evident.

10
Găurile de vierme și călătoria în timp

Am văzut în capitolele precedente cum s-a modificat de-a lungul anilor perspectiva noastră asupra naturii timpului. Până la începutul secolului XX, oamenii credeau că timpul este absolut. Adică se considera că fiecare eveniment putea fi marcat într-un mod unic printr-un număr numit „timp" și că toate ceasurile care funcționează bine ar arăta același interval de timp între două evenimente. Dar, descoperirea faptului că viteza luminii este aceeași pentru orice observator, indiferent de modul în care se mișcă, a condus la teoria relativității — și la abandonarea ideii existenței unui timp absolut și unic. Timpul evenimentelor nu mai poate fi marcat în mod unic. În locul timpului unic, fiecare observator are propria sa măsură a timpului, așa cum îl înregistrează ceasul pe care îl poartă, iar ceasurile purtate de diferiți observatori nu concordă în mod obligatoriu. Astfel, timpul a devenit un concept oarecum personal, relativ la observatorul care îl măsoară. Dar timpul încă mai era tratat ca și când ar fi fost o cale ferată dreaptă pe care poți merge numai într-un sens sau altul. Ce-ar fi însă dacă linia ar avea bucle sau ramificații, astfel încât un tren care merge mereu înainte ar putea ajunge înapoi, într-o gară prin care a mai trecut o dată? Cu alte cuvinte, e oare posibilă călătoria în viitor sau în trecut? În *Mașina timpului*, H. G. Wells a explorat aceste posibilități, așa cum au făcut-o și nenumărați alți autori de SF. Multe dintre ideile SF, cum ar fi submarinele și călătoria pe Lună, au devenit însă realități ale științei. Care ar fi deci perspectivele călătoriilor în timp?

MAȘINA TIMPULUI
Autorii în mașina timpului.

Călătoria în viitor este posibilă. Relativitatea ne arată că se poate construi o mașină a timpului care să vă arunce înainte în timp. Vă urcați în mașină, așteptați, coborâți și descoperiți că pe Pământ a trecut mult mai mult timp decât pentru dumneavoastră. Astăzi nu avem încă tehnologia pentru așa ceva, dar e doar o treabă inginerească, deoarece știm cum o putem face. Una dintre metodele de a construi o astfel de mașină ar fi să exploatăm situația discutată în Capitolul 6, privind paradoxul gemenilor. Astfel, în timp ce vă aflați în mașina timpului, ea demarează, accelerează până aproape de viteza luminii, continuă să meargă un timp așa (în funcție de cât de mult vreți să călătoriți înainte în timp), după care se întoarce. Faptul că mașina timpului este și un vehicul spațial nu trebuie să vă surprindă, deoarece, în conformitate cu relativitatea, spațiul și timpul sunt corelate. În orice caz, în ceea ce vă privește, singurul „loc" unde vă veți găsi pe durata întregului proces este interiorul mașinii timpului. Iar când veți ieși de acolo, veți descoperi că pe Pământ a trecut mai multă vreme decât s-a scurs pentru dumneavoastră. Ați călătorit în viitor. Dar puteți să vă mai întoarceți? Putem crea oare condițiile necesare pentru a călători înapoi în timp?

Primul indiciu că legile fizicii pot realmente permite oamenilor să călătorească înapoi în timp a apărut în 1949, când Kurt Gödel a descoperit o nouă soluție a ecuațiilor lui Einstein, adică un nou spațiu-timp permis în cadrul teoriei generale a relativității. Ecuațiile lui Einstein sunt satisfăcute de mai multe modele matematice diferite, dar aceasta nu înseamnă că toate soluțiile corespund universului în care trăim. Ele diferă, de exemplu, prin condițiile lor inițiale sau la limită. Pentru a decide dacă soluțiile pot corespunde sau nu universului nostru, trebuie să le testăm predicțiile fizice.

Gödel a fost un matematician care și-a dobândit faima pentru că a dovedit că este imposibil să demonstrezi toate propozițiile adevărate, chiar dacă te limitezi la încercarea de a demonstra toate adevărurile dintr-un domeniu aparent atât de banal ca aritmetica. La fel ca principiul de incertitudine, teorema de incompletitudine a lui Gödel poate constitui o limitare fundamentală a capacității noastre de a înțelege universul și de a prezice evenimentele. Gödel a aflat despre relativitatea generală atunci când, împreună cu Einstein, și-a petrecut ultimii ani de viață la Institutul de Studii Avansate

din Princeton. Spațiul-timp al lui Gödel avea o proprietate ciudată: întregul univers se rotea.

Ce înseamnă că întreg universul se rotește? Rotația înseamnă să te învârți mereu și mereu împrejur, dar aceasta nu implică oare existența unui punct staționar de referință? Așadar, vă puteți întreba, „În raport cu ce are loc rotația?" Răspunsul este oarecum tehnic, dar esența sa este că materia de la distanță s-ar roti în raport cu direcțiile pe care mici titirezi sau giroscoape le indică în univers. În spațiul-timp al lui Gödel, se manifestă un efect colateral: dacă, plecând de pe Pământ, ați călători o distanță mare și apoi ați reveni, ați putea ajunge înapoi pe Pământ înainte de a fi plecat.

Faptul că ecuațiile sale puteau permite așa ceva l-a nemulțumit probabil pe Einstein, care credea că relativitatea generală n-ar trebui să permită călătoria în timp. Dar, deși satisface ecuațiile lui Einstein, soluția găsită de Gödel nu corespunde universului în care trăim, deoarece observațiile noastre ne arată că universul nu se rotește, sau cel puțin nu în mod observabil. Mai mult, universul lui Gödel nu se extinde ca universul nostru. Totuși, de atunci, oamenii de știință care au studiat ecuațiile lui Einstein au găsit și alte spații-timp permise de relativitatea generală care îngăduie călătoria în timp. Dar observațiile fondului de microunde și ale abundenței unor elemente precum hidrogenul și heliul indică faptul că universul timpuriu nu a avut tipul de curbură pe care aceste modele îl cer pentru a permite călătoria în timp. Aceeași concluzie se impune pe baze teoretice dacă ipoteza universului fără granițe este corectă. Așadar, problema este următoarea: dacă universul începe fără tipul de curbură necesar pentru călătoria în timp, putem noi oare după aceea să curbăm regiuni locale ale spațiului-timp suficient de mult încât călătoria în timp să fie permisă?

Din nou, întrucât spațiul și timpul sunt corelate, s-ar putea să nu vă surprindă că o întrebare strâns legată de călătoria înapoi în timp este dacă se poate călători sau nu cu o viteză

mai mare decât viteza luminii. Faptul că o călătorie în timp implică deplasarea cu viteză mai mare decât cea a luminii este ușor de văzut: efectuând în ultima fază a călătoriei un drum în trecut, puteți face toată călătoria într-un timp oricât de scurt doriți, astfel încât veți putea călători cu o viteză nelimitată! Dar, așa cum vom vedea, e valabilă și reciproca: dacă puteți călători cu viteză nelimitată, atunci puteți de asemenea călători înapoi în timp. Una o implică pe cealaltă.

Călătoria cu o viteză mai mare decât cea a luminii este o problemă care îi preocupă mult pe autorii de SF. În conformitate cu relativitatea, dacă trimitem o navă cosmică spre steaua cea mai apropiată, Proxima Centauri, care se află la o distanță de circa patru ani-lumină, vor trebui să treacă cel puțin opt ani înainte ca astronauții să poată reveni și să ne spună ce au găsit acolo. Iar dacă expediția s-ar îndrepta spre centrul galaxiei noastre, ar trece cel puțin o sută de ani până la întoarcere. Nu e prea încurajator dacă vrei să scrii despre războaie intergalactice! Totuși, teoria relativității oferă o consolare, mergând din nou pe linia discuției noastre despre paradoxul gemenilor din Capitolul 6: pentru astronauți, călătoria va părea mult mai scurtă decât pentru cei care rămân pe Pământ. Dar, nu va fi o bucurie prea mare la întoarcere, deoarece călătorii, îmbătrâniți cu doar câțiva ani, vor afla că toți cei lăsați la plecare sunt morți și îngropați de mii de ani. Astfel, pentru a mai trezi vreun interes față de poveștile lor, scriitorii SF trebuie să presupună că, într-o zi, vom descoperi cum să călătorim mai repede decât lumina. Cei mai mulți dintre acești autori nu par să fi înțeles faptul că, dacă puteți să vă deplasați mai repede decât lumina, atunci teoria relativității implică și capacitatea de a vă deplasa înapoi în timp, așa cum spune următorul limerick*:

> Era o tânără din Wight — definitiv,
> mergând mai repede decât lumina.

---

* Gen de poezie absurdă, tipic englezească. (*N. t.*)

O zi, ea a plecat, cuminte
— la modul relativ.
Și a ajuns în seara dinainte.

Cheia acestei conexiuni constă nu numai în afirmația teoriei relativității despre inexistența unei măsuri unice a timpului, măsură cu care toți observatorii să fie de acord. În anumite condiții, observatorii nu mai pot fi de acord nici măcar cu privire la ordinea evenimentelor. În particular, dacă două evenimente, A și B, sunt atât de depărtate în spațiu unul de celălalt, încât o rachetă trebuie să se deplaseze cu o viteză mai mare decât viteza luminii pentru a ajunge de la A la B, atunci, doi observatori care se deplasează cu viteze diferite pot avea divergențe cu privire la ordinea evenimentelor: A s-a petrecut înaintea lui B, sau B înaintea lui A. Să presupunem, de exemplu, că evenimentul A este finalul cursei de 100 de metri plat de la Jocurile Olimpice din 2012, iar evenimentul B, deschiderea celei de-a 100 004-a sesiuni a Congresului din Proxima Centauri. Să mai presupunem și că, pentru un observator de pe Pământ, evenimentul A s-a produs primul, urmat de evenimentul B. Să admitem că evenimentul B a avut loc un an mai târziu, în anul 2013 după calendarul terestru. Deoarece Pământul se află la o distanță de circa patru ani-lumină față de Proxima Centauri, cele două evenimente satisfac criteriul de mai sus: deși A se produce înainte de B, pentru a ajunge din A în B, ar trebui să călătoriți cu o viteză mai mare decât viteza luminii. Atunci, un observator din Proxima Centauri, care se depărtează de Pământ cu o viteză apropiată de viteza luminii, va observa că ordinea evenimentelor este inversată, în sensul că B a avut loc înainte de A. Acest observator ar putea spune că, dacă te deplasezi cu o viteză mai mare decât viteza luminii, este posibil să mergi de la evenimentul B la evenimentul A. De fapt, dacă veți călători destul de repede, veți putea merge înapoi de la A la Proxima Centauri, ajungând acolo înainte de cursă, ca să pariați în cunoștință de cauză cu privire la învingător!

Dar cu depășirea barierei vitezei luminii e o problemă. Teoria relativității ne spune că puterea necesară rachetei pentru a accelera nava spațială devine tot mai mare, pe măsură ce nava se apropie de viteza luminii. Avem în acest sens dovezi experimentale, dar nu cu nave spațiale, ci cu particule elementare în acceleratoarele de particule cum ar fi acela de la Fermilab sau de la Centrul European de Cercetări Nucleare (CERN). Putem accelera particulele până la 99,99 la sută din viteza luminii, dar, oricât de multă putere am introduce în accelerator, nu putem trece dincolo de bariera vitezei luminii. La fel se întâmplă și cu nava spațială: oricât de mare este puterea rachetei, ea nu poate accelera dincolo de viteza luminii. Și, deoarece călătoria înapoi în timp este posibilă numai dacă este posibilă călătoria mai rapidă decât lumina, acest fapt pare să excludă și călătoria mai rapidă decât lumina, și călătoria înapoi în timp.

Totuși, ar putea exista o ieșire. Ați putea curba spațiul astfel încât să existe o scurtătură între A și B. Pentru așa ceva, o cale ar fi să se facă o gaură de vierme între A și B. După cum sugerează numele, o gaură de vierme este un tub subțire de spațiu-timp care poate conecta două regiuni aproape plate aflate la mare distanță una de alta. Este ca și când v-ați afla la poalele unui lanț de munți înalți. În mod normal, ca să treceți dincolo, trebuie să urcați mult, apoi să coborâți mult — dar nu și în cazul în care ar exista acolo o gaură gigantică de vierme, săpată orizontal prin rocă. Vă puteți imagina că forați sau găsiți o gaură de vierme care vă va duce din vecinătatea sistemului nostru solar la Proxima Centauri. Distanța prin gaura de vierme ar putea fi de doar câteva milioane de mile, chiar dacă Proxima Centauri se află la douăzeci de milioane de milioane de mile în spațiul obișnuit față de Pământ. Dacă am transmite știrile despre cursa de o sută de metri plat prin gaura de vierme, ar fi destul timp ca mesajul să ajungă înainte de deschiderea Congresului. Însă atunci, un observator care se mișcă spre Pământ ar trebui de asemenea

GAURA DE VIERME

Dacă găurile de vierme ar exista, ele ar putea oferi scurtături între punctele aflate la distanță în spațiu.

să găsească o altă gaură de vierme care i-ar permite să ajungă de la deschiderea Congresului înapoi pe Pământ înainte de începutul cursei. La fel ca orice altă formă posibilă de deplasare mai rapidă decât lumina, găurile de vierme v-ar permite să călătoriți în trecut.

Ideea găurilor de vierme situate între diferite regiuni ale spațiului-timp nu este o invenție a scriitorilor SF, ci are o proveniență foarte respectabilă. În 1935, Einstein și Nathan Rosen au scris o lucrare în care au arătat că relativitatea generală permite ceea ce ei au numit punți, cunoscute astăzi sub numele de găuri de vierme. Punțile lui Einstein și Rosen nu persistau un timp suficient ca să lase o navă spațială să treacă prin ele: din momentul în care gaura s-ar îngusta până la dispariție, nava ar nimeri într-o singularitate. S-a sugerat totuși că o civilizație avansată ar putea reuși să țină deschisă gaura de vierme. Pentru a face aceasta, sau pentru a curba spațiul-timp în orice alt mod astfel încât să permită călătoria în timp, se poate

demonstra că aveți nevoie de un spațiu-timp cu curbură negativă, ca suprafața unei șei. Materia obișnuită, care are o densitate de energie pozitivă, imprimă spațiului-timp o curbură pozitivă, ca suprafața unei sfere. Așadar, pentru a curba spațiul-timp astfel încât să permită călătoria în trecut avem nevoie de materie cu densitate de energie negativă.

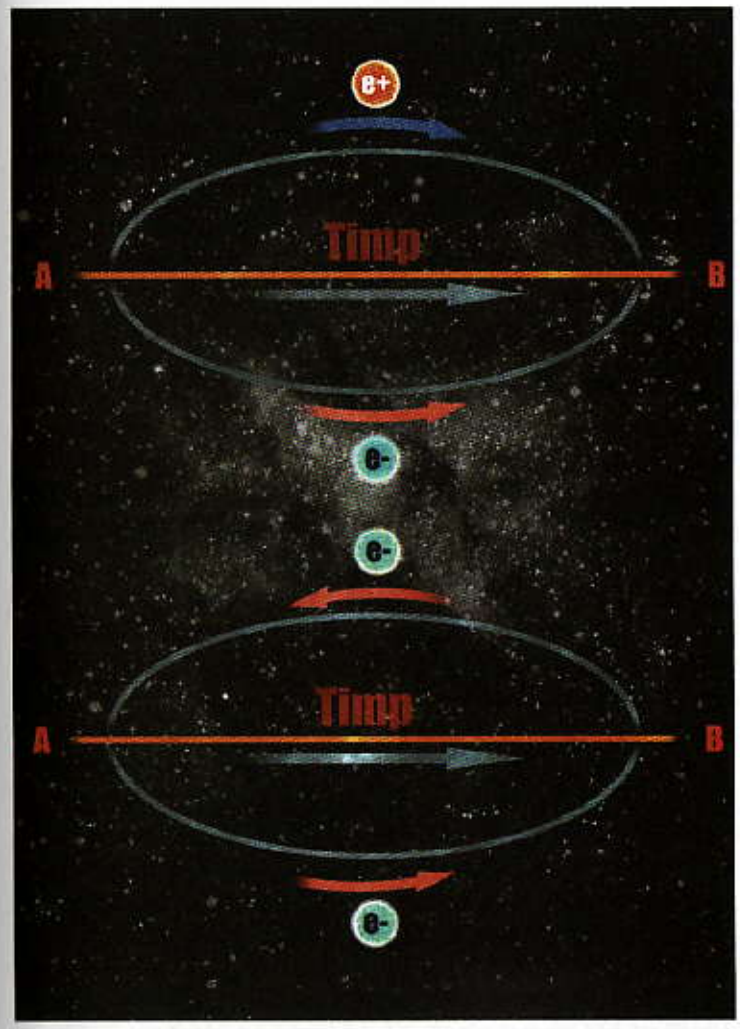
Ce înseamnă să avem o densitate de energie negativă? Energia este, într-un fel, ca banii: dacă aveți un bilanț pozitiv, îi puteți distribui în diverse moduri, dar, conform cu legile financiare clasice considerate valabile cu un secol în urmă, nu puteați avea contul bancar în debit. Astfel, legile clasice ar fi exclus densitatea de energie negativă și deci orice posibilitate de călătorie înapoi în timp. Totuși, așa cum am afirmat în capitolele precedente, legile clasice au fost depășite de legile cuantice bazate pe principiul de incertitudine. Legile cuantice sunt mai liberale și vă permit să aveți unul sau două conturi pe negativ, cu condiția ca pe totalul conturilor să aveți un bilanț pozitiv. Cu alte cuvinte, teoria cuantică permite ca densitatea de energie să fie negativă în anumite locuri, cu condiția să existe alte locuri cu densitate de energie pozitivă, astfel încât energia totală să rămână pozitivă. Avem în acest caz temeiuri să credem că spațiul-timp poate fi răsucit, căpătând o astfel de curbură încât să permită călătoria în timp.

Conform sumei de istorii a lui Feynman, într-un anume sens, călătoria în trecut are loc la scara unei particule. În metoda lui Feynman, o particulă obișnuită care se mișcă înainte în timp este echivalentă cu o antiparticulă care se mișcă înapoi în timp. În matematica acestuia, puteți privi o pereche particulă-antiparticulă, amândouă create și apoi anihilându-se reciproc, ca pe o singură particulă mișcându-se pe o buclă închisă în spațiul-timp. Pentru a-l vizualiza, desenați procesul mai întâi după procedeul clasic. La un moment — să zicem, la momentul A — sunt create particula și antiparticula. Amândouă se mișcă înainte în timp. Apoi, la un moment ulterior, B, ele interacționează iarăși, anihilându-se

reciproc. Înainte de momentul A și după momentul B, nu a existat nici una dintre particule. În conformitate cu teoria lui Feynman, puteți privi însă altfel acest proces. La momentul A, este creată o singură particulă. Ea se deplasează înainte în timp până la B, apoi se întoarce în A. În locul unei particule și unei antiparticule care merg împreună înainte în timp, acum există doar un singur obiect care se mișcă pe o „buclă" de la A la B și pe urmă înapoi. Atunci când obiectul se mișcă înainte în timp (de la A la B), el este numit particulă. Dar, atunci când obiectul se mișcă înapoi în timp (de la B la A), el apare ca o antiparticulă care se mișcă înainte în timp.

O astfel de călătorie în timp poate produce efecte observabile. Să presupunem, de exemplu, că un membru al perechii particulă/antiparticulă (de pildă, antiparticula) cade într-o gaură neagră, lăsându-și perechea fără un partener cu care să se anihileze. Particula părăsită poate cădea foarte bine și ea în gaura neagră, dar poate și scăpa din vecinătatea acesteia. Dacă așa se întâmplă, unui observator aflat la distanță i se pare că particula este emisă de gaura neagră. Puteți avea însă și o descriere diferită, dar echivalentă, a mecanismului emisiei de radiație de la găurile negre. Puteți privi acel membru al perechii căzut în gaura neagră (să zicem, antiparticula) ca pe o particulă deplasându-se înapoi în timp dinspre gaura neagră. Așadar, radiația găurilor negre arată că teoria cuantică permite călătoria înapoi în timp la scară microscopică.

Ne putem, prin urmare, întreba dacă teoria cuantică ar putea permite ca, odată cu progresul științei și tehnologiei, să reușim în cele din urmă să construim o mașină a timpului. La prima vedere, ar trebui să fie cu putință. Suma istoriilor introdusă de Feynman trebuie efectuată asupra tuturor istoriilor. Prin urmare, ea include și istoriile în care spațiul-timp este atât de curbat, încât călătoria în trecut să fie posibilă. Dar, deși legile cunoscute ale fizicii nu par să excludă călătoria în timp, există alte motive pentru a pune sub semnul întrebării posibilitatea ei.



ANTIPARTICULE LA FEYNMAN

O antiparticulă poate fi privită ca o particulă deplasându-se înapoi în timp. O pereche virtuală particulă-antiparticulă poate fi, prin urmare, concepută ca o particulă deplasându-se într-o buclă închisă în spațiul-timp.

În situația în care călătoria în trecut ar fi posibilă, întrebarea ar fi de ce n-a venit nimeni până acum din viitor la noi, ca să ne spună cum s-o facem. Ar putea exista însă motive serioase pentru care n-ar fi deloc înțelept să ni se dezvăluie secretul călătoriei în timp acum, în stadiul nostru primitiv de dezvoltare, dar este greu de crezut că un vizitator oarecare din viitor nu ne-ar vinde până la urmă pontul, dacă nu cumva natura umană va suferi schimbări radicale. Desigur, unii vor pretinde că OZN-urile constituie dovada că suntem vizitați fie de extratereștri, fie de semeni din viitor. (Dată fiind distanța imensă până la alte stele, dacă extratereștrii ar fi dorit să ajungă aici într-un timp rezonabil, ei ar fi trebuit să călătorească mai repede decât lumina, astfel că cele două posibilități sunt echivalente.) O explicație pentru absența vizitatorilor din viitor ar fi să spunem că trecutul este fixat, deoarece l-am observat și am văzut că nu prezintă genul de curbură necesar pentru a permite călătoria din viitor înapoi. Pe de altă parte, viitorul este necunoscut și deschis, astfel încât ar putea avea curbura necesară. Aceasta înseamnă că orice călătorie în timp ar fi posibilă doar într-un timp viitor. Căpitanul Kirk și nava stelară Enterprise n-ar avea nici o șansă de a veni spre noi acum.

Aceasta ar explica de ce nu suntem copleșiți de turiști veniți din viitor, dar n-ar evita un tip de probleme care se ridică dacă mersul înapoi în timp și schimbarea istoriei ar fi posibile: de ce nu suntem oare în conflict cu istoria? Să presupunem, de exemplu, că cineva a călătorit înapoi în timp și a dezvăluit naziștilor secretul bombei atomice, sau că dumneavoastră ați călătorit înapoi și v-ați ucis stră-străbunicul înainte ca el să fi avut copii. Există multe variante ale acestui paradox, dar ele sunt în fond echivalente: dacă am fi liberi să schimbăm trecutul, am ajunge la contradicții.

Paradoxurile implicate de călătoria în timp par să aibă două rezolvări posibile. Prima poate fi numită abordarea istoriilor necontradictorii. Conform ei, chiar dacă spațiul-timp este

astfel curbat încât călătoria în trecut ar fi posibilă, ceea ce se întâmplă în spațiul-timp trebuie să reprezinte soluții compatibile cu legile fizicii. Cu alte cuvinte, această perspectivă ne spune că nu puteți călători în trecut decât dacă istoria a menționat deja că v-ați întors și că, odată ajuns acolo, nu v-ați ucis stră-străbunicul sau că nu ați comis vreun alt act care ar intra în conflict cu istoria modului în care ați ajuns în situația în care vă aflați în prezent. Mai mult, la întoarcere, nu veți putea schimba istoria consemnată; tot ce puteți face e s-o urmați. Din această perspectivă, trecutul și viitorul sunt prestabilite: nu aveți liberul-arbitru de a face ceea ce doriți.

Ați putea răspunde, desigur, că liberul-arbitru este oricum o iluzie. Dacă există cu adevărat o teorie completă a fizicii care guvernează totul, este de presupus că ea vă determină și acțiunile. Dar o face într-un asemenea mod încât este imposibil să-l calculăm pentru un organism atât de complicat cum e omul, implicând și o doză de aleatoriu datorat efectelor mecanicii cuantice. Astfel, un mod de a privi aceste lucruri este să afirmi că oamenii au liber-arbitru deoarece nu putem prezice ce vor face. Dar, dacă un om pleacă la bordul unei nave spațiale și se întoarce înainte de a decola, vom fi capabili să prezicem ce va face, deoarece faptul va fi o parte a istoriei consemnate. Așadar, în situația descrisă, călătorul în timp nu are deloc liber-arbitru.

Cealaltă cale posibilă de a rezolva paradoxurile călătoriei în timp poate fi numită ipoteza istoriilor alternative. Ideea este că, atunci când călătorii în timp merg spre trecut, ei pătrund în istorii alternative care diferă de istoria consemnată. Astfel, ei pot acționa liber, fără constrângerea compatibilității cu istoria lor anterioară. Steven Spielberg s-a jucat cu aceste speculații în filmele lui *Înapoi în viitor*: Marty McFly a reușit să meargă înapoi și să le schimbe părinților săi idila cu o istorie mai acceptabilă.

Ipoteza istoriilor alternative pare destul de asemănătoare cu modul în care Richard Feynman a formulat teoria cuantică

în termeni de sumă a istoriilor, despre care am vorbit în Capitolul 9. Teoria ne spune că universul nu a avut doar o singură istorie; mai exact, a avut toate istoriile posibile, fiecare dintre ele cu propria sa probabilitate. Între ipoteza lui Feynman și istoriile alternative pare totuși să existe o diferență importantă. În suma lui Feynman, fiecare istorie cuprinde un spațiu-timp complet și tot ce se află în el. Spațiul-timp poate fi atât de curbat, încât să permită călătoria cu o rachetă în trecut. Dar racheta va rămâne în același spațiu-timp și, prin urmare, în aceeași istorie, care va trebui să fie lipsită de contradicții. Așadar, suma istoriilor propusă de Feynman pare să susțină mai degrabă ipoteza istoriilor necontradictorii decât ideea istoriilor alternative.

Putem evita aceste probleme dacă adoptăm ceea ce putem numi conjectura protecției cronologice. Ea spune că legile fizicii conspiră pentru a împiedica transmiterea informației înspre trecut de către corpurile macroscopice. Această conjectură nu a fost demonstrată, dar există un motiv pentru a considera că e adevărată: atunci când spațiul-timp este suficient de curbat încât călătoria temporală în trecut să fie posibilă, calculele de mecanică cuantică ne arată că perechile particulă/antiparticulă care se deplasează pe bucle închise pot crea densități de energie suficient de mari pentru a-i imprima spațiului-timp o curbură pozitivă care contracarează curbura ce permite călătoria în timp. Deoarece deocamdată nu e limpede dacă așa stau lucrurile, problema posibilității călătoriei în timp rămâne deschisă. Dar nu pariați pe așa ceva. Oponentul dumneavoastră ar putea avea avantajul dobândit pe căi incorecte de a cunoaște viitorul.

11
Forțele naturii și unificarea fizicii

Așa cum s-a explicat în Capitolul 3, ar fi foarte dificil să se construiască dintr-odată o teorie complet unificată despre tot ce există în univers. Am făcut în schimb progrese găsind teorii parțiale care descriu o categorie limitată de fenomene, dar neglijând alte efecte, sau aproximându-le cu anumite numere. Legile științei, așa cum le cunoaștem în prezent, conțin multe numere — de exemplu, mărimea sarcinii electrice a electronului și raportul maselor protonului și electronului — pe care, cel puțin deocamdată, nu le putem prezice din teorie. Trebuie să le determinăm prin observație și apoi să le introducem în ecuații. Unii numesc aceste numere constante fundamentale, alții, factori inventați.

Oricare v-ar fi punctul de vedere, este un fapt remarcabil că valorile acestor numere par să fi fost foarte fin ajustate pentru a putea face posibilă dezvoltarea vieții. Dacă, de exemplu, sarcina electronului ar fi doar puțin diferită, echilibrul dintre forțele electromagnetice și gravitaționale din stele s-ar strica și, ca urmare, stelele ori n-ar fi în stare să-și ardă hidrogenul sau heliul, ori n-ar putea exploda. În ambele situații, viața n-ar fi cu putință. Sperăm ca, în cele din urmă, să găsim o teorie completă, coerentă și unificată, care să includă ca aproximații toate aceste teorii parțiale și care să nu aibă nevoie să fie ajustată, pentru a se potrivi cu faptele, prin atribuirea de valori arbitrare numerelor din teorie, cum ar fi mărimea sarcinii electronului.

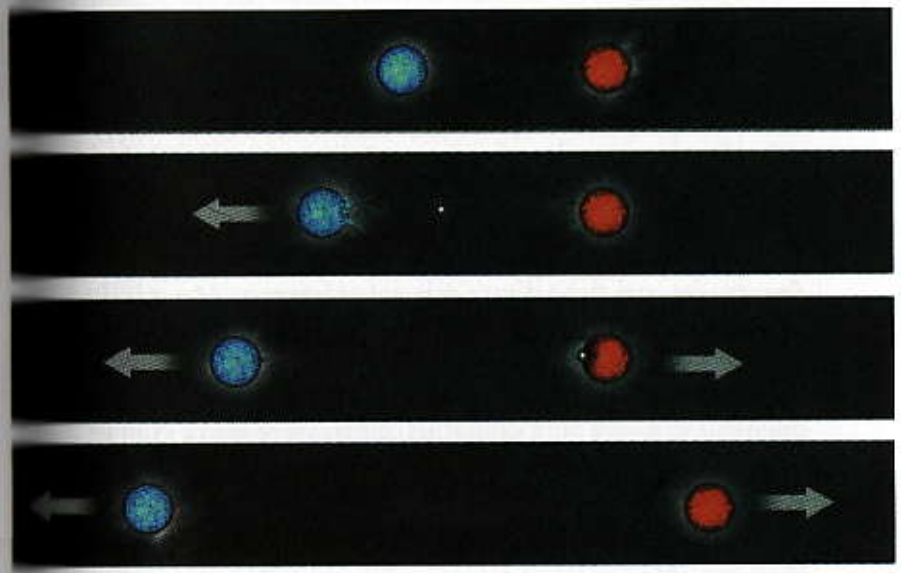
Căutarea unei asemenea teorii este cunoscută sub numele de unificarea fizicii. Einstein și-a petrecut cei mai mulți ani din ultima perioadă a vieții în căutarea lipsită de succes a teoriei unificate, dar timpul nu era copt: existau teorii parțiale pentru gravitație și forța electromagnetică, dar se știa prea puțin despre forțele nucleare. În plus, așa cum s-a menționat în Capitolul 9, Einstein a refuzat să creadă în realitatea mecanicii cuantice. Se pare totuși că principiul de incertitudine constituie o caracteristică fundamentală a universului în care trăim. Pentru ca o teorie unificată să aibă succes, ea trebuie, prin urmare, să încorporeze acest principiu.

Perspectivele de a găsi o astfel de teorie par să fie mult mai favorabile acum, deoarece știm atât de multe despre univers. Trebuie să fim însă prudenți cu supralicitarea acestei convingeri — am mai avut false iluzii și în trecut! La începutul secolului XX, de pildă, se credea că totul poate fi explicat în termenii proprietăților materiei continue, cum ar fi elasticitatea sau conductivitatea termică. Descoperirea structurii atomice și a principiului de incertitudine a pus capăt în mod categoric acestei idei. Apoi, din nou, în 1928, fizicianul laureat al Premiului Nobel Max Born a spus unui grup de vizitatori ai Universității din Göttingen că: „Fizica, așa cum o cunoaștem, va fi încheiată în șase luni." Convingerea lui se baza pe recenta descoperire a ecuației lui Dirac care guvernează electronul. Se credea că o ecuație similară va descrie și protonul, cealaltă particulă din cele două cunoscute pe atunci, iar astfel fizica teoretică ar fi fost epuizată. Dar descoperirea neutronului și a forțelor nucleare a aruncat și ideea lui Born la gunoi. Acestea fiind zise, acum avem totuși temeiuri pentru a spune cu un optimism prudent că suntem aproape de capătul căutării legilor fundamentale ale naturii.

În mecanica cuantică, se consideră că toate forțele sau interacțiunile dintre particulele de materie sunt purtate de particule. Se întâmplă cam așa: o particulă de materie, cum ar fi un electron sau un cuarc, emite o particulă care poartă

forța. Reculul unei astfel de emisii modifică viteza particulei emițătoare din același motiv pentru care un tun se deplasează înapoi după tragerea unui proiectil. Particula purtătoare de forță se ciocnește apoi cu o altă particulă de materie și este absorbită, modificând mișcarea particulei respective. Rezultatul net al procesului emisiei și absorbției este același ca în cazul în care între cele două particule materiale s-ar fi exercitat o forță.

Fiecare forță este transmisă de tipul său propriu de particulă purtătoare de forță. Dacă particulele purtătoare de forță ar avea masă mare, ar fi dificil ca ele să fie produse și schimbate între particule materiale aflate la distanță mare; ca urmare, forțele pe care le poartă ele au o rază scurtă de



SCHIMBUL DE PARTICULE

Conform teoriei cuantice, forțele apar din schimbul de particule purtătoare de forță.

acțiune. Pe de altă parte, dacă particulele purtătoare de forțe nu au o masă proprie, forțele respective vor avea o rază lungă de acțiune. Particulele purtătoare de forță schimbate între particulele de materie sunt considerate virtuale, deoarece, spre deosebire de particulele reale, ele nu pot fi detectate direct, cu ajutorul unui detector de particule. Știm totuși că ele există, deoarece au un efect măsurabil: particulele purtătoare dau naștere forțelor exercitate între particulele de materie.

Particulele purtătoare de forță pot fi grupate în patru categorii. Trebuie subliniat însă că această împărțire în patru clase aparține omului; ea este convenabilă pentru construirea teoriilor parțiale, dar la un nivel mai profund ar putea să nu aibă nici un corespondent. Cei mai mulți fizicieni speră ca, în cele din urmă, să se găsească o teorie unificată care să explice toate cele patru forțe ca pe aspecte diferite ale unei forțe unice. Într-adevăr, mulți cred că, în zilele noastre, acesta este scopul numărul unu al fizicii.

Prima categorie o reprezintă forța gravitațională. Această forță este universală — fiecare particulă este sensibilă la forța gravitației, proporțional cu masa sau energia particulei. Atracția gravitațională este descrisă ca fiind produsă de schimbul de particule virtuale numite gravitoni. Gravitația este de departe cea mai slabă dintre cele patru forțe; ea este atât de slabă încât nici n-am observa-o dacă n-ar avea două însușiri: poate acționa la distanțe lungi și este întotdeauna atractivă. Aceasta înseamnă că forțele foarte slabe dintre particulele individuale din care sunt compuse cele două corpuri, cum ar fi Soarele și Pământul, se pot însuma pentru a produce o forță semnificativă. Celelalte trei forțe fie sunt de distanță scurtă, fie sunt uneori atractive și alteori repulsive, astfel încât tind să se anuleze.

Următoarea categorie este forța electromagnetică; ea interacționează cu particulele încărcate electric, cum ar fi electronii și cuarcii, dar nu și cu particulele fără sarcină, cum ar

fi neutrinii. Ea este mult mai puternică decât forța gravitațională: forța electromagnetică dintre doi electroni este de circa un milion de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane (1, urmat de 42 de zerouri) de ori mai mare decât forța gravitațională. Există două tipuri de sarcină electrică: pozitivă și negativă. Forța electromagnetică dintre două sarcini pozitive este repulsivă, la fel ca forța dintre două sarcini negative, dar între o sarcină pozitivă și una negativă este atractivă.

Un corp mare, cum este Pământul sau Soarele, conține sarcini pozitive și sarcini negative în număr aproape egal. Astfel, forțele de atracție și de respingere dintre particulele individuale aproape că se anulează, rămânând foarte puțin din forța electromagnetică netă. Dar, la scara redusă a atomilor și moleculelor, forțele electromagnetice domină. Atracția electromagnetică dintre electronii încărcați negativ și protonii încărcați pozitiv din nucleu are ca efect mișcarea electronilor în orbită în jurul nucleului, în mod analog cu atracția gravitațională care are ca efect mișcarea Pământului pe orbită în jurul Soarelui. Se consideră că atracția electromagnetică e provocată de schimbul unui număr mare de particule virtuale, numite fotoni. Și în acest caz, fotonii participanți la schimb sunt particule virtuale. Dar, atunci când un electron își modifică orbita, trecând pe una mai apropiată de nucleu, se eliberează energie și se emite un foton real — care, dacă are o lungime de undă corespunzătoare, poate fi observat de ochiul uman, ca lumină vizibilă, sau de un detector de fotoni, cum ar fi pelicula fotografică. La fel, dacă un foton real se ciocnește cu un atom, el poate muta un electron de pe o orbită mai apropiată de nucleu pe una mai depărtată. Această tranziție epuizează energia fotonului, care este astfel absorbit.

Cea de-a treia categorie este numită forța nucleară slabă. În viața noastră de fiecare zi, nu intrăm în contact direct cu această forță. Ea este totuși responsabilă pentru radioactivitate — dezintegrarea nucleului atomic. Până în 1967, forța

nucleară slabă nu era bine înțeleasă. Atunci, Abdus Salam, de la Imperial College din Londra, și Steven Weinberg, de la Harvard, au propus teorii care au unificat această forță cu forța electromagnetică, întocmai cum a unificat Maxwell electricitatea și magnetismul cu aproximativ un secol în urmă. Predicțiile teoriei au fost atât de bine confirmate experimental, încât, în 1979, Salam și Weinberg au primit Premiul Nobel pentru fizică, împreună cu Sheldon Glashow, și el de la Harvard, care avansase o teorie similară de unificare a forțelor electromagnetice și nucleare slabe.

Cea de-a patra categorie aparține celei mai puternice dintre cele patru forțe, forța nucleară tare. Nici cu ea nu avem contact direct, dar forța nucleară tare este aceea care ține cea mai mare parte a lumii noastre la un loc. Ea este responsabilă pentru legarea laolaltă a cuarcilor în interiorul protonilor și neutronilor și pentru menținerea împreună a protonilor și neutronilor în nucleul atomului. Fără forța nucleară tare, respingerea electrică dintre protonii încărcați pozitiv ar sparge toate nucleele atomice din univers, cu excepția nucleelor hidrogenului, care sunt alcătuite dintr-un singur proton. Se consideră că această forță este purtată de o particulă numită gluon, care interacționează doar cu ea însăși și cu cuarcii.

Succesul unificării forțelor electromagnetică și nucleară slabă a dus la un număr de încercări de a combina aceste două forțe cu forța nucleară tare în cadrul a ceea ce se numește marea teorie unificată (GUT)*. Titlul este o exagerare, fiindcă teoriile care rezultă nu sunt deloc „mari" și nici nu sunt complet unificate, deoarece gravitația nu este inclusă în schemă. De asemenea, ele nu sunt nici complete cu adevărat, deoarece conțin o serie de parametri cu valori care nu pot fi prezise din teorie, ci trebuie astfel alese încât să corespundă experimentelor. Totuși, aceste teorii pot constitui un pas înainte către o teorie completă și în întregime unificată.

* După inițialele denumirii în limba engleză (Grand Unification Theory). (*N. t.*)

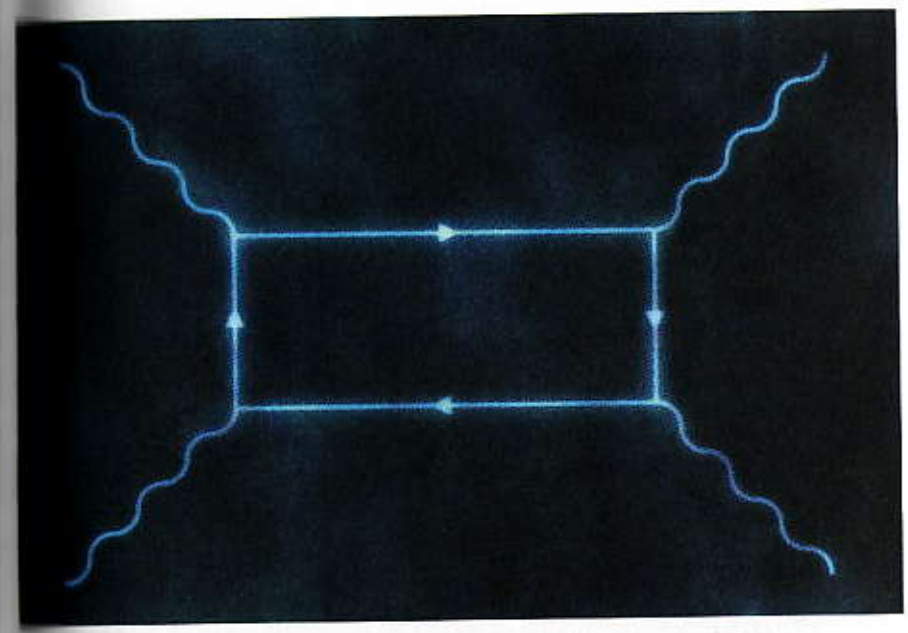


DIAGRAMA FEYNMAN A PERECHII VIRTUALE PARTICULĂ/ANTIPARTICULĂ

Principiul de incertitudine, aplicat electronului, impune ca până și în spațiul gol perechile de particulă/antiparticulă să apară și apoi să se anihileze reciproc.

Dificultatea majoră în găsirea unei teorii care să unifice gravitația cu celelalte forțe este că teoria gravitației — relativitatea generală — rămâne singura teorie necuantică: ea nu ia în considerare principiul de incertitudine. Dar, deoarece teoriile parțiale descriind celelalte forțe depind în mod esențial de mecanica cuantică, unificarea gravitației cu celelalte teorii va impune găsirea unei modalități de a încorpora acest principiu în relativitatea generală. Până acum însă nimeni n-a reușit să edifice teoria cuantică a gravitației.

Motivul pentru care teoria cuantică a gravitației s-a dovedit atât de dificil de elaborat se leagă de faptul că principiul de incertitudine impune ca până și spațiul „gol" să fie plin cu perechi de particule și antiparticule virtuale. Dacă ele n-ar exista — adică dacă spațiul „gol" ar fi realmente complet gol — aceasta ar însemna ca toate câmpurile, cum ar fi cel electromagnetic sau gravitațional să fie exact zero. Dar valoarea unui câmp și viteza lui de schimbare se află în același raport ca poziția și viteza (adică schimbarea poziției) unei particule: conform principiului de incertitudine, cu cât valoarea uneia este mai precis cunoscută, cu atât mai puțin precis este cunoscută valoarea celeilalte. Astfel, dacă un câmp în spațiul gol este fixat exact la valoarea zero, atunci el va avea și o valoare bine precizată (zero), și o viteză de schimbare bine precizată (tot zero), ceea ce violează acest principiu. Va trebui deci să existe o anumită cantitate minimă de incertitudine, sau fluctuații cuantice, în valoarea câmpului.

Aceste fluctuații pot fi concepute ca perechi de particule care apar împreună la un anumit moment, se depărtează, apoi se apropie și se anihilează reciproc. Ele sunt particule virtuale, ca acelea care poartă forțele; spre deosebire de particulele reale, ele nu pot fi observate direct cu un detector de particule. Cu toate acestea, efectele lor indirecte, cum ar fi mici schimbări ale energiei orbitelor electronice, pot fi măsurate, iar datele experimentale sunt într-o concordanță remarcabilă cu predicțiile teoretice. În cazul fluctuațiilor câmpului electromagnetic, aceste particule sunt fotonii virtuali, iar în cazul fluctuațiilor câmpului gravitațional, gravitonii virtuali. Dar în cazul fluctuațiilor câmpurilor forțelor slabe și tari, perechile virtuale sunt perechi de particule de materie, cum ar fi electronii sau cuarcii și antiparticulele lor.

Problema este că particulele virtuale posedă energie. De fapt, deoarece există un număr infinit de perechi virtuale, ele ar avea o cantitate infinită de energie și, prin urmare, datorită ecuației lui Einstein $E = mc^2$ (vezi Capitolul 5), ar avea

și o masă infinită. Conform relativității generale, aceasta înseamnă că gravitația produsă de această masă ar curba universul până la o dimensiune infinit de mică. Evident, așa ceva nu se întâmplă! Infinități absurde similare apar și în alte teorii parțiale — cele ale forțelor tari, slabe și electromagnetice — dar, în toate aceste cazuri, infinitățile pot fi înlăturate printr-un procedeu numit renormare, iar astfel am putut crea teorii cuantice pentru aceste forțe.

Renormarea implică introducerea de noi infinități care au ca efect anularea infinităților ce apar în teorie. Ele nu trebuie să se anuleze însă exact. Putem alege noile infinități astfel încât să rămână mici resturi. Acestea sunt numite cantități renormate ale teoriei.

Deși în practică această tehnică este mai degrabă dubioasă din punct de vedere matematic, ea pare să funcționeze și a fost folosită în teoriile forțelor tari, slabe și electromagnetice pentru a face predicții care concordă cu observațiile până la un grad extraordinar de precizie. Renormarea prezintă însă un neajuns serios din punctul de vedere al încercării de a găsi o teorie completă, deoarece înseamnă că valorile reale ale maselor și intensitățile forțelor nu pot fi prezise din teorie, ci trebuie astfel alese încât să concorde cu observațiile. Din nefericire, dacă încercăm să folosim renormarea ca să înlăturăm infinitățile cuantice din relativitatea generală, avem la dispoziție numai două cantități care pot fi ajustate: intensitatea gravitației și valoarea constantei cosmologice — termenul introdus de Einstein în ecuațiile sale, deoarece el credea că universul nu se extinde (vezi Capitolul 7). Așa cum se vădește, ajustarea acestor constante nu este suficientă pentru a înlătura toate infinitățile. Rămânem, așadar, cu o teorie cuantică a gravitației care pare să prezică faptul că anumite cantități, cum ar fi curbura spațiului-timp, sunt realmente infinite — deși aceste cantități pot fi observate și măsurate și se dovedesc perfect finite!

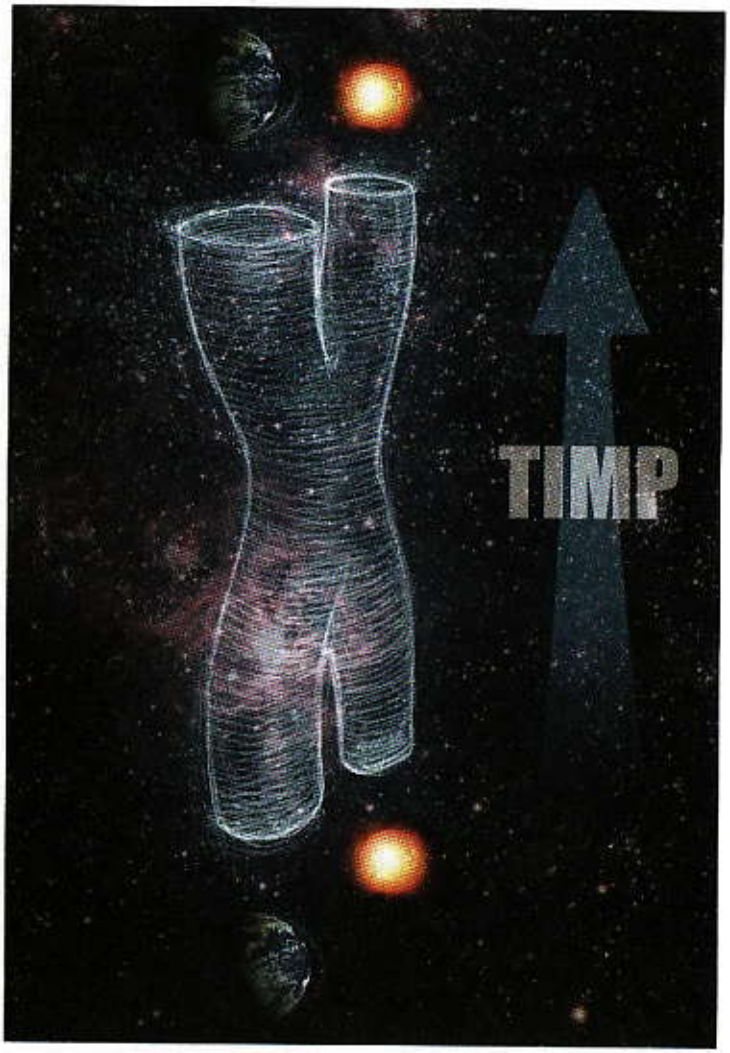
Existența dificultăților în combinarea relativității generale cu principiul de incertitudine fusese bănuită de ceva timp, dar a fost confirmată în final prin calcule detaliate în 1972. Patru ani mai târziu, a fost sugerată o soluție posibilă, numită supergravitație. Din nefericire, calculele necesare pentru a afla dacă rămâne sau nu vreo infinitate care nu se anulează în supergravitație erau atât de lungi și de dificile, încât nimeni nu și-a asumat misiunea să le efectueze. Chiar și cu un computer, calculele ar putea dura câțiva ani, fiind șanse mari ca la sfârșit să existe cel puțin o greșeală, dacă nu mai multe. Așadar, am ști că avem răspunsul corect numai dacă altcineva ar repeta calculul și ar obține același rezultat, ceea ce nu era prea încurajator! Totuși, în pofida acestor probleme și a faptului că particulele din teoriile supergravității nu păreau să se regăsească printre particulele observate, cei mai mulți oameni de știință credeau că teoria poate fi modificată și că era răspunsul corect la problema unificării gravitației cu celelalte forțe. Apoi, în 1984, a avut loc o schimbare remarcabilă de opinie în favoarea așa-numitelor teorii a corzilor.

Înainte de teoria corzilor, se considera că fiecare particulă fundamentală ocupă un singur punct în spațiu. În teoria corzilor, obiectele de bază nu sunt particulele, ci niște obiecte care au lungime, dar nici o altă dimensiune, cum ar fi o coardă infinit de subțire. Aceste corzi pot avea capete (așa-numitele corzi deschise), sau pot fi unite cu ele însele într-o buclă închisă (corzi închise). O particulă ocupă un singur punct în spațiu în fiecare moment de timp. O coardă însă ocupă o linie în spațiu la orice moment. Două corzi se pot uni pentru a forma o singură coardă; în cazul corzilor deschise, ele se unesc în mod simplu la capete, în timp ce în cazul corzilor închise, este ca și când două picioare ar intra într-o pereche de pantaloni. În mod asemănător, o coardă se poate divide în două corzi.

Dacă elementele constitutive fundamentale ale universului sunt corzile, ce anume reprezintă particulele pe care se pare că le observăm în experimentele noastre? În teoria corzilor, entitățile considerate înainte ca fiind diferite particule punctiforme sunt acum concepute ca diverse unde localizate pe corzi, asemănătoare cu undele unei corzi vibrante obișnuite, cum ar fi sfoara unui zmeu. Dar corzile, ca și vibrațiile de-a lungul lor, sunt atât de mici, încât nici cele mai avansate tehnologii de care dispunem nu pot discerne forma lor, astfel încât ele se comportă în toate experimentele noastre ca niște puncte minuscule, fără detalii. Imaginați-vă că priviți un fir de praf: dacă sunteți destul de aproape, sau dacă folosiți o lupă, puteți vedea că grăuntele de praf are o formă neregulată, sau chiar forma unei corzi, și totuși, de la distanță, arată ca un punct fără detalii.

În teoria corzilor, emisia sau absorbția unei particule de către o altă particulă corespunde divizării sau unirii corzilor. De exemplu, forța gravitațională a Soarelui asupra Pământului a fost reprezentată în teoria particulelor ca fiind provocată de emisia particulelor purtătoare de forțe numite gravitoni de către particulele materiale din Soare și de absorbția lor de către particulele materiale din Pământ. În teoria corzilor, acest proces corespunde unui tub sau unei țevi în forma literei H (teoria corzilor este, într-un fel, asemănătoare cu practica instalatorilor). Cele două laturi verticale ale literei H corespund particulelor din Soare și Pământ, iar linia orizontală de unire corespunde gravitonilor care se deplasează între acestea.

Teoria corzilor are o istorie ciudată. Ea a fost inventată la sfârșitul anilor '60, în încercarea de a descrie forța tare. Ideea era că particulele precum protonul și neutronul pot fi privite ca unde pe o coardă. Forțele tari dintre particule ar fi corespuns unor porțiuni de corzi care se aflau între alte porțiuni de corzi, ca într-o pânză de păianjen. Pentru ca această teorie să obțină valorile observate ale forței tari manifestate



DIAGRAMELE FEYNMAN ÎN TEORIA CORZILOR

În teoria corzilor, forțele de rază mare de acțiune sunt reprezentate ca fiind produse de niște tuburi de conexiune, nu de schimbul particulelor purtătoare de forță.

între particule, corzile trebuiau să fie asemănătoare cu niște fâșii de elastic, rezistând însă la o tensiune de circa zece tone.

În 1974, Joël Scherk, de la École Normale Supérieure de la Paris și John Schwarz de la California Institute of Technology au publicat o lucrare în care au arătat că teoria corzilor ar putea descrie natura forței gravitaționale, dar numai dacă tensiunea în coardă ar fi de circa o mie de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane (1 urmat de 39 de zerouri) de tone. Predicțiile teoriei corzilor vor fi aceleași cu predicțiile relativității generale la scara lungimilor normale, dar ele vor diferi la distanțe mici, mai mici decât o milionime de milionime de milionime de milionime de milionime de centimetru (un centimetru împărțit la 1 urmat de treizeci și trei de zerouri). Lucrarea lor nu s-a bucurat însă de prea multă atenție, deoarece la acea dată cei mai mulți fizicieni abandonaseră teoria inițială a corzilor consacrată forței tari în favoarea teoriei bazate pe cuarci și gluoni, care părea să concorde mult mai bine cu observațiile. Scherk a decedat în împrejurări tragice (el suferea de diabet și a intrat în comă atunci când nu era nimeni lângă el ca să-i facă o injecție cu insulină), astfel încât Schwarz a rămas singur, fiind aproape unicul adept al teoriei corzilor, dar confruntându-se acum cu o valoare mult mai mare propusă pentru tensiunea în coardă.

În 1984, interesul pentru corzi s-a redeșteptat brusc, din două motive. Unul a fost că nu se făceau mari progrese în demonstrarea faptului că supergravitația este finită sau că ea ar putea explica tipurile de particule pe care le observăm. Celălalt a fost publicarea unei alte lucrări aparținând lui John Schwarz, de această dată împreună cu Mike Green de la Queen Mary College din Londra. Lucrarea demonstra că teoria corzilor ar putea explica existența particulelor care au în mod intrinsec o comportare „de mâna stângă", așa cum sunt unele dintre particulele pe care le observăm. (Comportarea celor mai multe particule rămâne aceeași dacă schimbați condițiile

experimentale cu unele reflectate în oglindă, dar comportarea acestor particule se modifică. Este ca și când particulele ar fi de mâna stângă sau de mâna dreaptă, în loc să fie ambidextre.) Oricare ar fi fost motivul, un mare număr de oameni de știință a început imediat să lucreze la teoria corzilor; a fost elaborată o versiune nouă, care părea capabilă să explice tipurile de particule observate.

Și teoriile corzilor conduc la infinități, dar se crede că, în versiunea corectă, acestea se vor anula reciproc (deși deocamdată n-o știm cu certitudine). Teoriile corzilor au însă o problemă mai mare: ele par să fie necontradictorii numai dacă spațiul-timp are fie zece, fie douăzeci și șase de dimensiuni, în locul celor patru obișnuite! Desigur, dimensiunile suplimentare ale spațiului-timp sunt un loc comun în literatura științifico-fantastică. Ele oferă, într-adevăr, o cale ideală de a depăși restricțiile normale ale teoriei relativității conform cărora nu se poate călători cu viteze mai mari decât viteza luminii sau înapoi în timp (vezi Capitolul 10). Ideea este de a găsi o scurtătură prin dimensiunile suplimentare. Vă puteți reprezenta aceasta în felul următor: imaginați-vă că spațiul în care trăim are numai două dimensiuni, fiind curbat ca suprafața unui inel de ancoră sau ca un covrig. Dacă sunteți pe suprafața interioară a inelului și doriți să ajungeți într-un punct de partea cealaltă a acestuia, atunci trebuie să vă deplasați după un cerc de-a lungul marginii interioare, până când ajungeți în punctul ales ca țintă. Dacă ați putea însă călători în cea de-a treia dimensiune, ați reuși să părăsiți inelul ca să o scurtați direct în linie dreaptă.

De ce nu vedem oare aceste dimensiuni suplimentare, dacă ele sunt acolo cu adevărat? De ce vedem doar trei dimensiuni spațiale și o dimensiune temporală? Răspunsul sugerat este că celelalte dimensiuni nu sunt la fel ca acelea în care suntem obișnuiți să trăim. Cele dintâi sunt curbate într-un spațiu foarte mic, ceva de ordinul unei milionimi de milionime de milionime de milionime de milionime dintr-un țol.

Acest spațiu e prea mic pentru a-l vedea, așa încât, vedem numai o dimensiune temporală și trei dimensiuni spațiale, în care spațiul-timp este destul de plat. Pentru a înțelege ce se întâmplă, gândiți-vă la suprafața unui pai. Dacă îl priviți de aproape, vedeți că suprafața lui este bidimensională. Aceasta înseamnă că poziția unui punct de pe pai este descrisă de două numere, lungimea de-a lungul paiului și distanța în jurul dimensiunii sale circulare. Dar dimensiunea sa circulară este mult mai mică decât dimensiunea lungimii de-a lungul paiului. Din acest motiv, atunci când priviți paiul de la distanță, nu îi vedeți grosimea, astfel că paiul apare unidimensional, adică se pare că, pentru a indica poziția unui punct, aveți nevoie doar de lungimea în lungul paiului. Așa se întâmplă și cu spațiul-timp, spun teoreticienii corzilor: la o scară foarte mică, spațiul are zece dimensiuni și este puternic curbat, dar, la o scară mare, nu vedeți curbura dimensiunilor suplimentare.

Dacă această imagine e corectă, ea comunică o veste rea eventualilor călători spațiali: dimensiunile suplimentare ar fi prea mici pentru a permite unei nave spațiale să treacă pe acolo. Dar această situație ridică o problemă majoră și pentru oamenii de știință: de ce doar anumite dimensiuni (dar nu toate) sunt curbate spre interior, ca o bilă micuță? Este de presupus că, în universul foarte timpuriu, toate dimensiunile au fost foarte curbate. De ce oare o dimensiune temporală și trei spațiale s-au aplatizat, pe când celelalte dimensiuni au rămas strâns curbate?

Un răspuns posibil ar fi cel dat de principiul antropic, care poate fi rezumat astfel: „Noi vedem universul în acest fel, deoarece existăm." Principiul antropic are două versiuni, cea slabă și cea tare. Principiul antropic slab afirmă că, într-un univers extins sau infinit în spațiu și/sau în timp, condițiile necesare pentru dezvoltarea vieții inteligente vor fi îndeplinite numai în anumite regiuni care sunt limitate în spațiu și în timp. Ființele inteligente din aceste regiuni n-ar trebui, prin urma-

re, să fie surprinse dacă observă că regiunea din univers unde se află ele satisface condițiile care sunt necesare pentru propria lor existență. E cam ce se întâmplă cu un om bogat care trăiește într-un cartier înstărit și nu vede nici un fel de sărăcie.

Unii merg mult mai departe și propun o versiune tare a principiului. Conform versiunii tari, există fie mai multe universuri diferite, fie mai multe regiuni diferite ale unui univers unic, fiecare cu propria sa configurație inițială și, poate, și cu propriul său set de legi ale științei. În cele mai multe dintre aceste universuri, condițiile nu vor fi propice pentru dezvoltarea unor organisme complicate; doar în puține dintre ele, care sunt asemănătoare universului nostru, se pot dezvolta ființe inteligente, capabile să se întrebe „De ce este universul așa cum îl vedem?". Răspunsul este simplu: dacă ar fi fost diferit, noi n-am fi aici!

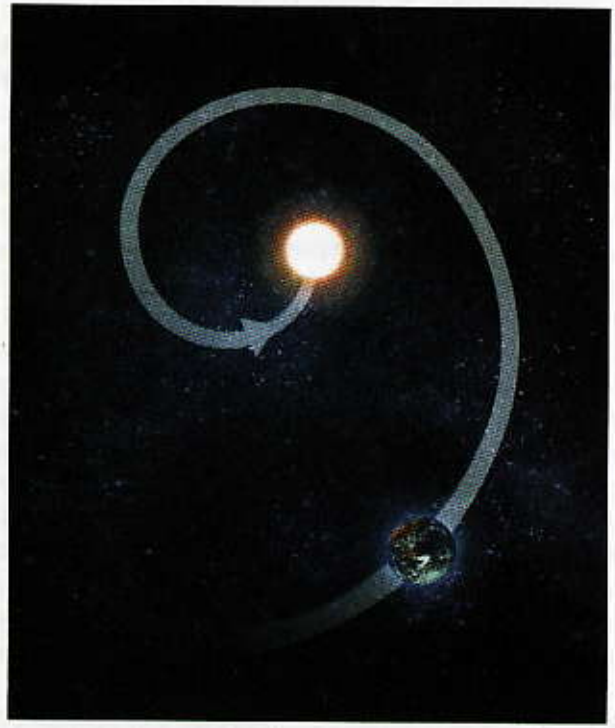
Puțini oameni ar obiecta cu privire la validitatea sau utilitatea principiului antropic slab, dar există o serie de obiecții care se pot ridica împotriva principiului antropic tare ca explicație pentru starea observată a universului. De exemplu, în ce sens se poate spune despre toate aceste universuri că există? Dacă ele sunt realmente separate unul de altul, atunci ceea ce se întâmplă într-un alt univers nu poate să aibă consecințe observabile în propriul nostru univers. Va trebui, prin urmare, să facem uz de principiul economiei și să le eliminăm din teorie. Dar, dacă, pe de altă parte, ele ar fi doar regiuni diferite ale universului unic, legile științei ar trebui să fie aceleași în toate regiunile, deoarece altminteri, nu ne-am putea deplasa continuu de la o regiune la alta. În acest caz, singura diferență dintre regiuni ar ține de condițiile inițiale ale fiecăreia, astfel că principiul antropic tare s-ar reduce la principiul antropic slab.

Principiul antropic oferă un posibil răspuns la întrebarea de ce s-au răsucit dimensiunile suplimentare din teoria corzilor. Două dimensiuni nu sunt suficiente pentru a permite dezvoltarea unor ființe complicate cum suntem noi. De exemplu, animalele bidimensionale care trăiesc pe un cerc (suprafața unui pământ bidimensional) ar trebui să se suie unul peste altul pentru a trece unul dincolo de celălalt. Și, dacă o ființă bidimensională ar mânca ceva ce n-ar putea digera total, ea ar trebui să excreteze resturile pe aceeași cale pe care a înghițit hrana, deoarece, dacă ar exista o trecere prin corp, aceasta ar împărți ființa în două jumătăți, iar creatura bidimensională s-ar dezmembra. În mod asemănător, este greu de văzut cum ar putea avea loc circulația sangvină într-o ființă bidimensională.

Și cu mai mult decât trei dimensiuni spațiale vor fi probleme. Forța gravitațională dintre două corpuri scade mai rapid cu distanța decât în spațiul cu trei dimensiuni. (În spațiul cu trei dimensiuni, forța gravitațională scade la un sfert atunci când dublați distanța. În patru dimensiuni, ea scade la o optime, în cinci, la o șaiprezecime etc.). Rezultatul ar fi instabilitatea orbitelor planetelor — cum ar fi Pământul — în jurul Soarelui: cea mai mică perturbație de la orbita circulară (provocată, de pildă, de atracția gravitațională a celorlalte planete) ar avea ca efect deplasarea în spirală a Pământului fie în exterior, fie în interior, spre Soare. Fie vom îngheța, fie ne vom prăji. De fapt, aceeași comportare a gravitației în spații cu mai mult de trei dimensiuni ar face ca Soarele să nu poată rămâne într-o stare stabilă, cu presiunea echilibrându-i gravitația. Soarele fie s-ar destrăma, fie ar colapsa, formând o gaură neagră. În oricare dintre cazuri, el n-ar constitui prea mult timp sursa de căldură și lumină pentru viața de pe Pământ. La o scară mai mică, forțele electrice care determină electronii să orbiteze în jurul nucleului atomic s-ar comporta în același fel ca forțele gravitaționale. Atunci, electronii fie ar scăpa cu toții din atom, fie ar cădea în spirală către nucleu. În oricare dintre cazuri, atomii n-ar exista așa cum îi știm.

Pare clar deci că viața, cel puțin așa cum o cunoaștem, poate exista numai în acele regiuni ale spațiului-timp în care o dimensiune temporală și exact trei dimensiuni spațiale nu sunt strâns înfășurate. Aceasta înseamnă că putem apela la prin-

cipiul antropic slab, cu condiția de a demonstra că teoria corzilor permite cel puțin existența unor astfel de regiuni în univers — ceea ce teoria corzilor pare într-adevăr s-o facă. Ar putea foarte bine exista alte regiuni ale universului, sau alte universuri (orice ar însemna asta), în care toate dimensiunile sunt puternic curbate, sau în care mai mult decât patru dimensiuni sunt aproape plate, dar acolo n-ar putea exista ființe inteligente care să constate numărul diferit al dimensiunilor efective.



IMPORTANȚA DE A FI TRIDIMENSIONAL

În mai mult de trei dimensiuni spațiale, orbitele planetare vor fi instabile, iar planetele fie ar cădea pe Soare, fie ar scăpa cu totul atracției sale.

În afara chestiunii dimensiunilor, o altă problemă a corzilor este existența a cel puțin cinci teorii diferite (două pentru corzile deschise și trei pentru corzile închise) și milioane de moduri în care dimensiunile suplimentare prezise de teorie pot fi strâns curbate. De ce să fie aleasă doar o singură teorie a corzilor și o singură modalitate de curbare a dimensiunilor? Pentru o vreme, nu se întrevedea nici un răspuns la această întrebare, iar progresul era blocat. Apoi, din 1994, fizicienii au început să descopere așa-numitele dualități: diferitele teorii ale corzilor și diferitele modalități de a curba dimensiunile suplimentare puteau duce la aceleași rezultate în patru dimensiuni. Mai mult, pe lângă particule, care ocupă un singur punct în spațiu și pe lângă corzi, care sunt liniare, au apărut alte obiecte numite p-brane, care ocupă volume cu două sau mai multe dimensiuni în spațiu. (O particulă poate fi privită ca o 0-brană, iar o coardă ca o 1-brană, dar există și p-brane de la p = 2 la p = 9. O 2-brană poate fi privită ca o membrană bidimensională. Este mai dificil să ne reprezentăm brane cu mai multe dimensiuni.) Toate acestea par să vădească o anumită democrație (în sensul de a avea aceleași drepturi de manifestare) în rândul teoriilor supergravitației, corzilor și p-branelor: ele se potrivesc împreună, dar nu se poate spune despre vreuna că ar fi mai profundă decât celelalte. În schimb, ele apar ca diferite aproximații ale unei teorii fundamentale, fiecare dintre ele valabilă în situații diferite.

Oamenii de știință au căutat această teorie de bază, dar fără succes până acum. S-ar putea nici să nu existe vreo unică formulare a teoriei fundamentale, după cum nu există, așa cum a arătat Gödel, vreo formulare a aritmeticii în termenii unui singur set de axiome. S-ar putea în schimb ca situația să semene cu cea a hărților — nu puteți folosi numai o singură hartă plană pentru a descrie suprafața rotundă a Pământului sau suprafața unui inel: pentru a acoperi fiecare punct, aveți nevoie de cel puțin două hărți în cazul Pământului și de patru în cazul inelului. Fiecare hartă este valabilă doar

într-o regiune limitată, dar pentru diferitele hărți vor exista regiuni în care se suprapun. Colecția de hărți oferă o descriere completă a suprafeței. Similar, în fizică, s-ar putea dovedi necesară folosirea unor formulări diferite în situații diferite, dar două formulări diferite vor concorda în situațiile în care se pot aplica ambele. Dacă toate acestea sunt adevărate, întreaga colecție de formulări diferite ar putea fi privită ca o teorie complet unificată, deși nu va putea fi exprimată în termenii unui singur set de postulate. Dar chiar și asta ar putea fi mai mult decât permite natura. E oare cu putință ca o teorie unificată nici să nu existe? Alergăm oare după o himeră? Se întrevăd trei posibilități:

1. O teorie complet unificată (sau un set de formulări care se suprapun) există cu adevărat și, dacă suntem destul de inteligenți, va fi cândva descoperită.
2. Nu există o teorie finală a universului, ci doar un șir infinit de teorii care descriu universul tot mai precis, dar niciodată exact.
3. Nu există o teorie a universului: dincolo de o anumită limită, evenimentele nu pot fi prevăzute, ci au loc în mod întâmplător și arbitrar.

Unii vor susține cea de-a treia posibilitate, pe baza judecății conform căreia, dacă ar exista un set complet de legi, acest fapt ar încălca libertatea lui Dumnezeu de a-și modifica intențiile și de a interveni în lume. Dar, din moment ce Dumnezeu este atotputernic, n-ar putea să-Și încalce singur libertatea dacă El ar dori-o? Seamănă oarecum cu vechiul paradox: poate Dumnezeu să facă o piatră atât de grea, încât să n-o poată ridica? De fapt, ideea că Dumnezeu ar putea dori să-Și schimbe intenția este un exemplu de eroare, pusă în evidență de Sf. Augustin și constând în a ne închipui că Dumnezeu există în timp. Timpul este o proprietate doar a universului pe care Dumnezeu l-a creat. Este de presupus că El știa ce intenții are atunci când El l-a alcătuit!

Odată cu apariția mecanicii cuantice, am fost obligați să acceptăm că evenimentele nu pot fi prezise cu o precizie completă: există întotdeauna un grad de incertitudine. Dacă vreți, puteți atribui acest caracter aleatoriu intervenției lui Dumnezeu. Dar ar fi un mod foarte straniu de intervenție, fără vreo dovadă că ar fi îndreptată către vreun scop. Într-adevăr, în cazul în care ar exista, prin definiție, intervenția n-ar putea fi aleatorie. În timpurile moderne, noi am eliminat definitiv cea de-a treia posibilitate de mai sus, redefinind scopul științei: scopul nostru este să formulăm un set de legi care să ne permită prezicerea evenimentelor până la limita stabilită de principiul de incertitudine.

Cea de-a doua posibilitate, privind existența unui șir infinit de teorii tot mai rafinate, este în concordanță cu întreaga noastră experiență de până acum. În numeroase rânduri, după ce am mărit sensibilitatea măsurătorilor, am descoperit noi fenomene care nu fuseseră prezise de teoriile existente și, pentru a le explica, am fost obligați să elaborăm teorii mai avansate. Studiind interacțiile particulelor la energii din ce în ce mai mari, ne-am putea, desigur, aștepta să descoperim noi straturi de structuri mai profunde decât cuarcii și electronii, pe care îi considerăm acum particule „elementare".

Gravitația poate limita acest șir de „cutii în cutii". Dacă am avea o particulă cu o energie mai mare decât ceea ce se numește energia Planck, masa ei ar fi atât de concentrată încât particula s-ar rupe de restul universului și ar forma o mică gaură neagră. Așadar, se pare că șirul de teorii din ce în ce mai rafinate trebuie să aibă o anumită limită — pe măsură ce studiem energii tot mai înalte — astfel că o teorie ultimă a universului ar trebui să existe. Dar energia Planck e foarte departe de energiile pe care le putem produce în prezent în laborator. Cu acceleratorii de particule, nu vom putea depăși acest prag într-un timp previzibil. Stadiul foarte timpuriu al universului a fost însă arena pe care asemenea energii au trebuit să apară. Există deci o șansă ca studiul universului

timpuriu și cerințele coerenței matematice să ne conducă la o teorie complet unificată încă în timpul vieții unora dintre noi — presupunând că nu ne autodistrugem până atunci!

Ce ar însemna faptul de a descoperi într-adevăr teoria ultimă a universului?

Așa cum am explicat în Capitolul 3, nu putem fi niciodată siguri că am găsit cu adevărat teoria corectă, deoarece teoriile nu pot fi demonstrate. Dar, dacă teoria este necontradictorie matematic și oferă mereu predicții confirmate de observații, am putea fi în bună măsură încredințați că este cea corectă. Ar pune capăt unui lung și glorios capitol din istoria eforturilor intelectuale ale umanității pentru înțelegerea universului. Dar ar revoluționa și modul în care omul de rând înțelege legile ce guvernează universul.

Pe vremea lui Newton, o persoană educată putea avea o imagine a întregii cunoașteri umane, cel puțin în linii generale. Dar, de atunci, ritmul dezvoltării științei a făcut imposibil acest lucru. Deoarece teoriile s-au schimbat mereu pentru a fi în acord cu noile observații, ele nu sunt niciodată corect însușite sau suficient simplificate, astfel încât oamenii de rând să le poată înțelege. Trebuie să fii specialist, dar chiar și atunci poți doar spera să-ți faci o idee corectă despre o mică parte din teoriile științifice. Mai mult, viteza progresului e atât de mare, încât ceea ce învățați la școală sau la universitate este întotdeauna un pic depășit. Numai foarte puțini oameni pot să țină pasul cu înaintarea rapidă a frontierei cunoașterii; iar ei trebuie să-și consacre tot timpul acesteia, specializându-se doar într-un domeniu restrâns. Restul populației nu știe mare lucru despre progresele făcute, sau despre entuziasmul pe care acestea le generează. Pe de altă parte, acum șaptezeci de ani, dacă e să-l credem pe Eddington, numai doi oameni înțelegeau teoria generală a relativității. În zilele noastre, zeci de mii de absolvenți ai universităților o înțeleg, iar multe milioane de alți oameni au măcar o idee vagă despre ea. Dacă va fi descoperită o teorie complet unificată, va fi doar o chestiune de timp până când aceasta va fi rezumată și simplificată în același mod și predată în școli, cel puțin sumar. Vom ajunge atunci la o anumită înțelegere a legilor care guvernează universul și cărora le datorăm existența noastră.

Dar chiar dacă vom descoperi o teorie complet unificată, nu înseamnă că vom putea prezice în general evenimentele, iar aceasta, din două motive. Primul este limita pe care principiul de incertitudine din mecanica cuantică o pune în calea capacității noastre predictive. Nu e nimic de făcut pentru a-l ocoli. În practică, această primă limitare este mai puțin restrictivă decât cea de-a doua, care provine din faptul că, cel mai probabil, vom reuși să rezolvăm ecuațiile unei astfel de teorii doar în situații foarte simple. Așa cum am spus, nimeni nu poate rezolva exact ecuațiile cuantice pentru un atom constând din nucleu plus mai mult decât un electron. Nu putem calcula exact nici măcar mișcarea a trei corpuri într-o teorie așa de simplă ca teoria gravitației a lui Newton, iar dificultatea sporește odată cu numărul corpurilor și cu complexitatea teoriei. Pentru aplicații, ajung de obicei soluțiile aproximative, dar ele nu corespund nici pe departe speranțelor noastre trezite de sintagma „teoria unificată despre tot"!

Astăzi, cunoaștem deja legile care guvernează comportarea materiei în toate condițiile, cu excepția celor extreme. În particular, cunoaștem legile fundamentale care stau la baza întregii chimii și biologii. Încă nu am redus, desigur, aceste subiecte la stadiul de probleme rezolvate. Și, ca atare, am avut foarte puțin succes în prezicerea comportamentului uman cu ajutorul ecuațiilor matematice! Așadar, chiar dacă descoperim un set de legi fundamentale, ne va mai rămâne pentru anii următori misiunea provocatoare intelectual de a găsi metode mai bune de aproximație, astfel încât să putem face predicții utile în situații reale și complicate. Teoria unificată, coerentă și completă, constituie doar primul pas: scopul nostru este o înțelegere completă a evenimentelor din jurul nostru și chiar a propriei noastre existențe.

12
Concluzie

Descoperim că ne aflăm într-o lume uimitoare. Vrem să atribuim un sens tuturor celor văzute în jurul nostru și să ne întrebăm: Care este natura universului? Care este locul nostru în univers, de unde provenim și noi, și el? De ce universul este așa cum este?

În încercarea de a da un răspuns acestor întrebări, noi adoptăm o anumită imagine a lumii. Dacă turnul infinit de broaște țestoase care susțin un pământ plat e o asemenea imagine, la fel este și teoria supercorzilor. Amândouă sunt teorii ale universului, deși cea din urmă este mai matematizată și mai precisă decât cea dintâi. Nici una dintre teorii nu dispune de dovezi experimentale: nimeni nu a văzut vreodată o broască țestoasă uriașă cu Pământul în spinare, dar nici o supercoardă nu a văzut cineva. Totuși, teoria broaștelor țestoase eșuează ca teorie științifică acceptabilă, deoarece ea prezice că oamenii pot cădea dincolo de marginea lumii. Acest fapt nu a fost demonstrat de experiență, dacă nu cumva se dovedește a fi explicația pentru pretinsa dispariție a oamenilor în triunghiul Bermudelor!

Primele încercări de a descrie și explica universul implicau ideea că evenimentele și fenomenele naturale sunt controlate de spirite supuse emoțiilor umane și care acționau într-un mod imprevizibil, asemănător oamenilor. Aceste spirite sălășluiau în lucrurile naturale, cum ar fi râurile, munții și corpurile cerești, între care Soarele și Luna. Ele trebuiau înduplecate,

DE LA BROAȘTELE ȚESTOASE LA SPAȚIUL CURBAT
Puncte de vedere antice și moderne despre univers.

iar, pentru a asigura fertilitatea solului și succesiunea anotimpurilor, trebuia să li se obțină favoarea. Treptat însă, anumite regularități au ieșit la iveală: Soarele răsărea mereu în est și apunea în vest fie că i se aduceau sau nu jertfe zeului-soare. Apoi, Soarele, Luna și planetele urmau parcursuri exacte pe cer, iar acestea puteau fi prezise destul de exact. Soarele și Luna puteau încă rămâne zei, dar niște zei supuși unor legi stricte, aparent fără excepție, dacă nu ținem seama de istorisiri cum este aceea despre soarele oprit în loc de Iosua*.

---

* *Iosua* 10.12-13, unde Iosua oprește (în numele lui Dumnezeu) soarele și luna, text biblic citat aici și pentru relevanța sa în perspectiva relațiilor dintre știință și religie, începând cu perioada lui Galilei. Versetele din *Iosua* au fost folosite de teologii radicali ai vremii pentru a respinge teoria copernicană. (*N. t.*)

La început, aceste regularități și legi erau evidente doar în astronomie și în câteva alte situații. Dar, pe măsură ce civilizația a progresat, și mai ales în ultimele trei secole, au fost descoperite din ce în ce mai multe regularități și legi. Succesul adus de aceste legi l-a făcut pe Laplace să postuleze la începutul secolului al XIX-lea determinismul științific; el a sugerat existența unui set de legi care pot să determine precis evoluția universului, cu condiția cunoașterii configurației sale la un moment oarecare de timp.

Determinismul lui Laplace este incomplet în două privințe: el nu ne spune în ce mod trebuie alese legile respective și nu menționează care este configurația inițială a universului. Aceste lucruri au fost lăsate în seama lui Dumnezeu. Dumnezeu ar fi ales cum să înceapă universul și căror legi să i se supună, dar El nu ar mai interveni în univers, odată ce universul a luat ființă. În fapt, Dumnezeu a fost restrâns la acele domenii pe care știința secolului al XIX-lea nu le înțelegea.

Astăzi știm că speranțele lui Laplace în privința determinismului nu pot fi împlinite, cel puțin nu în termenii pe care i-a avut el în vedere. Principiul de incertitudine al mecanicii cuantice implică faptul că există anumite perechi de mărimi, cum ar fi poziția și viteza unei particule, care nu pot fi simultan prezise cu precizie absolută. Mecanica cuantică tratează această situație cu ajutorul unei clase de teorii cuantice în care particulele nu au poziții și viteze bine definite, ci sunt reprezentate ca o undă. Aceste teorii cuantice sunt deterministe în sensul că ne oferă legi de evoluție ale undei în funcție de timp. Astfel, atunci când cunoaștem unda la un anumit moment, o putem calcula pentru orice moment ulterior. Elementul imprevizibil, aleatoriu, intră în joc numai atunci când încercăm să interpretăm unda în termenii de poziție și viteză ale particulelor. Dar poate că aici greșim: este posibil să nu existe poziții și viteze ale particulelor, ci numai unde. Noi încercăm pur și simplu să adoptăm undele ideilor noastre pre-

concepute de poziție și viteză. Nepotrivirea ce rezultă de aici este cauza aparentei imprevizibilități.

De fapt, noi redefinim astfel misiunea științei: ea este descoperirea legilor care ne permit predicția evenimentelor în limitele impuse de principiul de incertitudine. Rămâne însă întrebarea: cum sau de ce au fost alese așa legile și starea inițială a universului?

Cartea de față conferă o importanță deosebită legilor care guvernează gravitația, deoarece gravitația este aceea care modelează structura universului pe scară largă, chiar dacă este cea mai slabă dintre cele patru categorii de forțe. Legea gravitației este incompatibilă cu punctul de vedere, susținut până de curând, după care universul este neschimbător în timp: deoarece gravitația e întotdeauna o forță de atracție, universul trebuie fie să se extindă, fie să se contracte. Conform teoriei generale a relativității, în trecut trebuie să fi existat o stare cu densitate infinită, big bang-ul, care a fost începutul efectiv al timpului. În mod asemănător, dacă întreg universul ar colapsa, atunci ar trebui să apară în viitor o altă stare, cu densitate infinită, marea prăbușire, care ar fi sfârșitul timpului. Chiar dacă nu întreg universul ar colapsa, tot ar exista singularități în fiecare regiune localizată care a colapsat pentru a forma o gaură neagră. Aceste regiuni ar constitui un sfârșit al timpului pentru oricine ar cădea în gaura neagră. La big bang și la alte singularități, toate legile ar deveni caduce, astfel încât Dumnezeu ar păstra libertatea completă să aleagă ce s-a întâmplat și cum a început universul.

Atunci când combinăm relativitatea generală cu mecanica cuantică pare să se ivească o nouă posibilitate, inexistentă înainte: aceea că spațiul și timpul pot forma împreună un spațiu finit, cvadridimensional, fără singularități sau granițe, ca suprafața Pământului, dar cu mai multe dimensiuni. Se pare că această idee ar putea explica multe din particularitățile cunoscute ale universului, cum ar fi uniformitatea sa la scară mare și, de asemenea, abaterile la scară mică de la omogeni-

tate, inclusiv existența galaxiilor, a stelelor și chiar a ființelor umane. Dar, dacă universul este complet autocuprins, fără singularități sau granițe, fiind complet descris de o teorie unificată, acestea toate au implicații profunde pentru rolul de creator al lui Dumnezeu.

Einstein s-a întrebat odată: „Câtă alegere a avut la dispoziție Dumnezeu în zidirea universului?" Dacă ideea „fără granițe" este corectă, Dumnezeu nu a avut nici un fel de libertate în alegerea condițiilor inițiale. Dumnezeu ar fi avut totuși libertatea de a alege legile cărora universul să li se supună. Dar nici aici nu ar fi avut prea mult de ales; s-ar putea să existe numai una singură, sau doar câteva teorii complet unificate, cum ar fi teoria corzilor, care sunt selfconsistente, permițând existența stucturilor atât de complicate cum sunt ființele umane, care pot cerceta legile universului și își pot pune întrebări privind natura lui Dumnezeu. Chiar dacă doar o singură teorie unificată este posibilă, ea constituie numai un set de reguli și ecuații. Ce anume dă viață ecuațiilor și naște un univers pentru ca ele să-l descrie? Demersul obișnuit al științei de a construi un model matematic nu poate răspunde la întrebările: De ce trebuie să existe un univers pe care modelul să-l descrie? De ce se osteneşte universul să existe? Este oare teoria unificată atât de puternică, încât să-și provoace propria existență? Sau are nevoie de un creator, iar dacă așa stau lucrurile, are El și alte efecte asupra universului? Și cine L-a creat pe El?

Până acum, oamenii de știință au fost prea ocupați cu elaborarea de noi teorii care descriu ce este universul, ca să se mai întrebe și de ce acesta există. Pe de altă parte, cei a căror treabă este să se întrebe de ce — filozofii —, n-au reușit să țină pasul cu progresul teoriilor științifice. În secolul al XVIII-lea, filozofii considerau totalitatea cunoașterii umane, inclusiv știința, drept domeniul lor și discutau probleme cum ar fi dacă universul a avut un început. Dar, în secolele al XIX-lea și al XX-lea, știința a devenit prea specializată și matematizată pentru filozofi, ca și pentru oricine, cu excepția câtorva specialiști. Filozofii și-au redus atât de mult domeniul cercetării, încât Wittgenstein, cel mai faimos filozof al secolului XX, a spus: „Unica misiune rămasă filozofiei este analiza limbajului." Ce recul față de marea tradiție a filozofiei de la Aristotel la Kant!

Dacă vom descoperi o teorie completă, ea va deveni cu timpul inteligibilă în linii generale pentru oricine, nu numai pentru câțiva oameni de știință. Atunci, noi cu toții, filozofi, oameni de știință și oameni obișnuiți, vom putea discuta pe marginea întrebării de ce noi și universul existăm. Dacă vom găsi un răspuns, acesta va fi triumful final al rațiunii umane — deoarece atunci vom cunoaște cugetul lui Dumnezeu.

Albert Einstein

Legătura lui Einstein cu politica bombei nucleare este bine cunoscută: el a semnat faimoasa scrisoare către președintele Franklin Roosevelt* care a convins Guvernul Statelor Unite să ia ideea în serios; tot el s-a angajat în eforturile postbelice de prevenire a războiului nuclear. Dar toate acestea nu au fost doar eforturi izolate ale unui om de știință târât în lumea politicii. Pentru a folosi propriile-i cuvinte, viața lui Einstein a fost „împărțită între politică și ecuații".

Activitatea politică a lui Einstein s-a manifestat pentru prima dată în timpul Primului Război Mondial, când el era profesor la Berlin**. Dezgustat de ceea ce considera o pierdere inutilă de vieți omenești, el s-a implicat în demonstrațiile antirăzboinice. Pledoaria lui pentru nesupunerea civică și încurajarea publică a refuzului încorporării a contribuit prea puțin pentru a-l face acceptat de colegi. Apoi, după război, el și-a îndreptat eforturile către reconciliere și îmbunătățirea relațiilor internaționale. Nici acest fapt nu l-a făcut popular, iar curând atitudinile sale politice i-au făcut dificilă călătoria în Statele Unite, chiar și pentru a ține prelegeri.

A doua mare cauză politică a fost sionismul. Deși, prin naștere era evreu, Einstein respingea ideea biblică de Dumnezeu*. Dar, conștientizarea tot mai puternică a antisemitismului și dinaintea și din timpul Primului Război Mondial l-a făcut să se identifice treptat cu comunitatea evreiască, iar mai târziu să devină adept declarat al sionismului. Odată în plus, pierderea popularității nu l-a oprit să vorbească despre ce avea în minte. Teoriile sale au fost supuse atacului; s-a format chiar o organizație anti-Einstein**. Un bărbat a fost condamnat pentru că i-a incitat pe alții să-l omoare pe Einstein (și a fost amendat cu nu mai mult de șase dolari). Dar Einstein a rămas flegmatic. Atunci când s-a publicat o carte intitulată *100 de autori contra lui Einstein*, el a replicat: „Dacă n-aș fi avut dreptate, atunci un singur autor ar fi fost de ajuns!"

În 1933, Hitler a ajuns la putere. Einstein se afla în America și a declarat că nu se va mai întoarce în Germania. Apoi, în timp ce milițiile naziste îi invadau casa și îi confiscau depunerile bancare, un ziar din Berlin publica cu litere mari titlul „Știri bune de la Einstein — nu se mai întoarce". În fața amenințării naziste, Einstein a renunțat la pacifism și, în final, temându-se că savanții germani vor construi o bombă nucleară, a propus Statelor Unite să-și construiască una proprie. Dar, chiar înainte ca prima bombă nucleară să fie detonată, el a avertizat public privind existența pericolului unui război nu-

* Datată 2 august 1939, scrisoarea primește răspuns pe 19 octombrie. Președintele Roosevelt îl anunța pe Einstein că a numit o comisie tehnico-militară de analiză. A urmat proiectul Manhattan, în cadrul căruia s-au construit bombele lansate în 1945 asupra Japoniei. Ulterior, oamenii de știință au scăpat din mână controlul asupra propriului produs, care a rămas pe mâna militarilor și a administrației. (*N. t.*)

** Invitat de Max Planck în 1914, la Universitate și la Academia de Științe, Einstein nu a avut obligații didactice. (*N. t.*)

* Invitat să asiste la un serviciu religios, Einstein îi scrie rabinului: „Dragă Dle Hirsh, vă mulțumesc foarte mult pentru amabila dvs. invitație. În pofida faptului că sunt un fel de sfânt iudaic, n-am mai fost de atâta timp în sinagogă, încât mă tem că Dumnezeu nu mă va recunoaște, iar dacă nu va fi așa, atunci va fi și mai rău. (Vezi Ze'ev Rosenkranz, *Albert Einstein, privat und ganz persönlich*, Jüdische National-und Universitätsbibliothek Jerusalem, 2004.) (*N. t.*)

** Se știe că Einstein a participat la una dintre întrunirile acesteia, organizată în sala celebrei Filarmonici din Berlin. (*N. t.*)

clear, propunând un control internațional al armamentului de acest fel.

De-a lungul întregii vieți, eforturile sale dedicate păcii au reușit puține lucruri care să rămână — și, desigur, i-au adus puține prietenii. Susținerea publică a cauzei sioniste i-a fost însă pe drept recunoscută în 1952, când i s-a oferit președinția Israelului. El a respins-o, spunând că se consideră prea naiv din punct de vedere politic. Dar poate că motivul real era altul; ca să-l citățm din nou: „Pentru mine, ecuațiile sunt mai importante, deoarece politica este pentru prezent, dar o ecuație este pentru eternitate."

Galileo Galilei

Lui Galileo, poate mai mult decât oricărui om luat individual, i se datorează nașterea științei moderne*. Faimosul său conflict cu Biserica Catolică e definitoriu pentru concepțiile sale, deoarece Galileo a fost unul dintre primii care au susținut că omul poate spera să înțeleagă cum funcționează lumea și, mai mult, că poate s-o facă observând lumea reală. Galileo a fost adeptul teoriei copernicane (conform căreia planetele orbitează în jurul Soarelui), la care aderase devreme, dar pe care a început s-o susțină public** numai după ce a găsit dovezile necesare pentru susținerea ei***. El a scris despre teoria lui Copernic în italiană (și nu în latina folosită academic), iar curând părerile sale au fost larg adoptate în afara universităților. Acest fapt i-a supărat pe profeso-

* Există o distincție în modul de referință la marele savant italian: în general, cei care îl consideră om de știință modern, îl citează folosind numele său de familie, *Galilei*, iar cei care îl apropie mai mult de Renaștere, îl numesc *Galileo*. Aceștia din urmă, de obicei, îi și subestimează rolul în știință, dar, așa cum se vede, nu și autorul cărții de față. (*N. t.*)

** Nu se poate vorbi de vreo susținere publică propriu-zisă, ci de scrisori ale lui Galilei, adresate unor prieteni, sau patroanei sale, Marea Ducesă Cristina de Lorena. (*N. t.*)

*** Nici mult mai târziu, în 1632, când și-a publicat *Dialogul* (vezi mai jos), Galilei nu dispunea de dovezi peremptorii în favoarea mișcării Pământului. Ele au apărut mult mai târziu. (A se vedea în acest sens Gheorghe Stratan, *Galileu! O, Galileu!* Logos, București, 1967, Cap. V.) (*N. t.*)

rii aristotelicieni, care s-au unit împotriva lui, căutând să convingă Biserica Catolică să interzică teoria copernicană*.

Îngrijorat din această pricină, Galileo a plecat la Roma, pentru a se adresa autorităților ecleziastice. El a susținut că Biblia nu a fost destinată să dea socoteală pentru teoriile științifice și că, atunci când intra în conflict cu rațiunea, se presupunea de regulă că are un înțeles alegoric.

Dar Biserica se temea de un scandal care i-ar fi putut submina lupta împotriva protestantismului, astfel că a luat măsuri represive. În 1616, ea a declarat teoria lui Copernic „falsă și eronată" și i-a ordonat lui Galileo „să nu apere și nici să susțină" doctrina. Galileo a acceptat.

În 1623, un vechi prieten al lui Galileo a devenit papă. Imediat, Galileo a încercat să obțină revocarea decretului din 1616. N-a reușit, dar a aranjat să primească aprobarea de a scrie o carte în care să discute ambele teorii, aristotelică și copernicană, cu două condiții: să nu ia partea vreuneia și să ajungă la concluzia că omul nu poate în nici un caz să determine cum funcționează lumea, deoarece Dumnezeu poate provoca aceleași efecte pe căi neimaginate de om, care nu poate stabili limite omnipotenței dumnezeiești.

Intitulată *Dialog despre cele două sisteme principale ale lumii*, cartea a fost terminată și publicată în 1632, cu completa aprobare a cenzorilor — fiind imediat salutată în toată Europa ca o capodoperă literară și filozofică. Curând după aceasta, papa, înțelegând faptul că oamenii văd cartea ca pe un argument convingător în favoarea teoriei lui Copernic, a regretat aprobarea dată publicării. Papa a susținut că, deși cartea a primit binecuvântarea oficială a cenzorilor, Galileo a contravenit decretului din 1616. El l-a adus pe Galileo în fața Inchiziției, care l-a condamnat la arest la domiciliu pe viață

* Primele reacții au venit totuși spontan, de la călugării dominicani, care au denunțat teoria copernicană în predici, iar dezbaterile pe această temă, cu adevărat importante pentru desfășurarea evenimentelor, s-au purtat în sânul Bisericii. (*N. t.*)

și i-a cerut să renunțe public la teoria copernicană. Și de această dată, Galileo a acceptat.

Galileo a rămas un catolic credincios, dar crezul lui în independența științei nu s-a clintit. Cu patru ani înaintea morții sale din 1642, pe când autorul se afla încă în arest la domiciliu, manuscrisul celei de-a doua cărți importante a lui Galilei a fost trimis pe ascuns unui editor din Olanda. Mai mult decât susținerea teoriei lui Copernic, această carte, cunoscută sub numele de *Două științe noi*, avea să constituie actul de naștere al fizicii moderne.

Isaac Newton

Isaac Newton nu a fost un om plăcut. Relațiile sale cu ceilalți membri ai mediului academic erau notorii, majoritatea anilor din ultima parte a vieții fiind irosită în dispute aprinse. După publicarea lucrării *Principia Mathematica* — în mod sigur, cea mai influentă carte de fizică scrisă vreodată — Newton a intrat rapid în conștiința publicului. El a fost numit președinte al Societății Regale și a fost primul om de știință din toate timpurile care a primit titlul de cavaler.

Newton a intrat repede în conflict cu Astronomul Regal*, John Flamsteed, care mai înainte îi furnizase datele de care avea nevoie pentru *Principia*, dar acum îi oprea accesul la alte informații. Newon nu accepta refuzul: el s-a numit singur în organul conducător al Observatorului Regal și a încercat să forțeze publicarea imediată a datelor. În cele din urmă, a aranjat ca lucrarea lui Flamsteed să fie confiscată și încredințată spre pregătire și publicare lui Edmond Halley**, dușmanul de moarte al lui Flamsteed. Dar acesta a adus cazul în fața justiției și, în ultimul moment, a obținut un ordin judecătoresc oprind difuzarea operei furate. Newton s-a mâniat și și-a găsit răzbunarea scoțând sistematic toate referințele la Flamsteed din ultimele ediții ale *Principiilor*.

O dispută mai serioasă s-a iscat cu filozoful german Gottfried Leibniz. Amândoi — Leibniz și Newton — au dezvoltat

* Funcție existentă și în momentul de față. (*N. t.*)

** Următorul Astronom Regal. (*N. t.*)

în mod independent o ramură a matematicii numită analiză, care stă la baza celei mai însemnate părți a fizicii moderne. Deși noi știm acum că Newton a descoperit analiza cu ani buni înaintea lui Leibniz, el și-a publicat lucrarea mult mai târziu. A urmat un mare scandal legat de întâietate, oamenii de știință susținând cu convingere fie pe unul, fie pe celălalt. Este demn de consemnat totuși faptul că cele mai multe dintre articolele care susțineau cauza lui Newton erau la origine scrise de propria sa mână, deși au fost publicate sub numele prietenilor! Când scandalul a crescut, Leibniz a comis greșeala să apeleze la Royal Society ca să tranșeze disputa. Ca președinte, Newton a numit pentru investigații un comitet „imparțial", alcătuit, ca din întâmplare, numai din prietenii săi! Dar asta n-a fost tot: Newton a scris el însuși raportul comitetului și a făcut ca Societatea Regală să-l publice, acuzându-l oficial pe Leibniz de plagiat. Nemulțumit doar cu atât, el a mai scris și un rezumat anonim al raportului în periodicul Societății Regale. Se spune că, după moartea lui Leibniz, Newton ar fi declarat că i-a făcut mare plăcere „să-i frângă inima lui Leibniz".

În perioada celor două dispute, Newton aproape că a părăsit Universitatea Cambridge și lumea academică. A fost activ implicat în politica anticatolică de la Cambridge și, mai târziu, din Parlament, fiind în cele din urmă răsplătit cu postul lucrativ de Guvernator al Monetăriei Regale. Aici, el și-a folosit într-un mod mai acceptabil social aplecarea către viclenie și răutate, conducând cu succes o campanie importantă împotriva falsificării banilor, ba chiar și trimițând câțiva oameni la spânzurătoare*.

* Postul i-a fost oferit ca o sinecură, dar Newton și-a luat misiunea în serios. A scris chiar lucrări în domeniu, fiind considerat cel mai important personaj oficial din toată istoria acestei instituții. (*N. t.*)

Glosar

Accelerator de particule: O mașină care, folosind electromagneți, poate accelera particule încărcate aflate în mișcare, mărindu-le astfel energia.
Accelerație: Rata de schimbare a vitezei unui obiect.
Antiparticulă: Fiecare tip de particulă materială are o antiparticulă corespunzătoare. Atunci când o particulă se ciocnește cu antiparticula sa, ambele sunt anihilate, lăsând în urmă doar energie.
Atom: Unitatea de bază a materiei obișnuite, alcătuită dintr-un nucleu minuscul (constând din protoni și neutroni), înconjurat de electroni care orbitează în jurul lui.
Big bang: Singularitatea de la începutul universului.
Câmp: Ceva care există răspândit în spațiu și în timp, spre deosebire de particulă, care la un moment dat există doar într-un punct.
Câmp magnetic: Câmpul responsabil pentru forțele magnetice, încorporat acum, împreună cu câmpul electric, în câmpul electromagnetic.
Constanta cosmologică: Instrument matematic folosit de Einstein pentru a imprima spațiului-timp o tendință intrinsecă de expansiune.
Coordonate: numere care specifică poziția unui punct în spațiu și timp.
Cosmologie: Studiul universului ca întreg.
Cuarc: Particulă elementară (încărcată) care este sensibilă la forța tare. Protonii și neutronii sunt compuși fiecare din câte trei cuarci.

Deplasarea spre roșu: Înroșirea luminii venite de la o stea care se depărtează de noi, provocată de efectul Doppler.
Dimensiune spațială: Oricare dintre cele trei dimensiuni — adică orice dimensiune, cu excepția dimensiunii temporale.
Dualitate: O corespondență dintre teorii aparent diferite, care duc însă la aceleași rezultate fizice.
Dualitate undă/particulă: Conceptul din mecanica cuantică potrivit căruia nu există distincție între unde și particule; particulele se pot comporta uneori ca unde, iar undele ca particule.
Electron: particulă cu sarcină electrică negativă care orbitează în jurul nucleului atomic.
Energia unificării electroslabe: Energia (de circa 100 GeV) deasupra căreia distincția dintre forța electromagnetică și cea slabă dispare.
Eveniment: Un punct în spațiul-timp, specificat de timpul și locul respectiv.
Fază: Pentru o undă, poziția acesteia în ciclul propriu la un moment dat: măsură a situării sale pe creastă, în vale, sau undeva între acestea.
Fără condiții la limită: Ideea că universul este finit, dar nu are margini.
Forța slabă: Penultima ca putere dintre cele patru forțe fundamentale, înaintea gravitației. Are o rază de acțiune foarte scurtă. Acționează asupra tuturor particulelor materiale, dar nu și asupra particulelor purtătoare de forță.
Forța tare: Cea mai puternică dintre cele patru forțe fundamentale, cu raza cea mai mică de acțiune. Ea ține cuarcii împreună în protoni și neutroni și ține protonii și neutronii împreună pentru a forma atomi.
Foton: Cuanta de lumină.
Frecvență: Referitor la undă, numărul de cicluri complete pe secundă.

Fuziune nucleară: Procesul prin care două nuclee se ciocnesc și se contopesc, formând un nucleu unic, mai greu.

Gaură de vierme: Un tub subțire din spațiul-timp, făcând legătura între regiuni îndepărtate ale universului. Găurile de vierme pot de asemenea să ne lege cu universurile paralele sau nou-născute și ar putea oferi modalitatea de călătorie în timp.

Gaură neagră: O regiune a spațiului-timp din care, din cauza gravitației puternice, nu poate scăpa nimic în afară, nici măcar lumina.

Geodezică: Cel mai scurt (sau cel mai lung) drum între două puncte.

Greutate: Forța exercitată asupra unui corp de către un câmp gravitațional. Este proporțională, dar nu aceeași cu masa.

Lungime de undă: Pentru o undă, distanța dintre două văi adiacente sau dintre două creste adiacente.

Marea prăbușire (big crunch): Singularitatea de la sfârșitul universului.

Marea teorie unificată: O teorie care unifică forțele electromagnetică, tare și slabă.

Masă: Cantitatea de materie dintr-un corp; inerția sa, sau rezistența la accelerație.

Materia neagră: Materie din galaxii, roiuri de galaxii și — posibil — dintre roiuri, care nu a fost observată direct, dar care poate fi detectată prin efectul ei gravitațional. Până la 90 de procente din masa universului ar putea fi sub formă de materie neagră.

Mecanica cuantică: Teorie dezvoltată plecând de la principiul cuantic al lui Planck și principiul de incertitudine al lui Heisenberg.

Neutrin: Particulă extrem de ușoară, care este afectată numai de forța slabă și de gravitație.

Neutron: Particulă foarte asemănătoare cu protonul, dar fără sarcină, alcătuind circa jumătate din particulele care compun majoritatea nucleelor.

Nucleu: Partea centrală a unui atom, constând numai din protoni și neutroni, ținuți laolaltă de forța tare.

Orizontul evenimentelor: Granița unei găuri negre.

Particulă elementară: O particulă despre care se crede că nu poate fi divizată.

Particulă virtuală: În mecanica cuantică, particulă care nu poate fi detectată direct, dar a cărei existență are efecte măsurabile.

Podul lui Einstein-Rosen: Un tub subțire în spațiul-timp legând două găuri negre. Vezi, de asemenea, **gaură de vierme**.

Pozitron: Antiparticula electronului (încărcată pozitiv).

Principiul antropic: Ideea că vedem universul așa cum este deoarece, dacă ar fi fost diferit, noi n-am putea fi aici ca să-l observăm.

Principiul cuantic al lui Planck: Ideea că lumina (sau orice altă undă clasică) poate fi emisă sau absorbită numai în cuante discrete, a căror energie este proporțională cu frecvența și invers proporțională cu lungimea lor de undă.

Principiul de incertitudine: Principiul formulat de Heisenberg conform căruia nu este posibil să fim simultan absolut siguri de valorile poziției și vitezei unei particule; cu cât mai precis este cunoscută una dintre ele, cu atât mai puțin precis poate fi cunoscută cealaltă.

Proporțional: „X este proporțional cu Y" înseamnă că, atunci când Y este înmulțit cu un număr oarecare, la fel se întâmplă și cu X. „X este invers proporțional cu Y" înseamnă că, atunci când Y este înmulțit cu un număr oarecare, X este împărțit cu același număr.

Proton: Particulă foarte asemănătoare cu neutronul, dar încărcată pozitiv, alcătuind circa jumătate din numărul de particule ale nucleului la cei mai mulți dintre atomi.

Radar: Sistem folosind unde radio pentru a detecta poziția obiectelor, măsurând timpul necesar unui puls pentru a ajunge la obiect și a fi reflectat înapoi.

Radiația de fond de microunde: Radiația provenind de la vâlvătaia universului timpuriu fierbinte, atât de mult deplasată spre roșu, încât nu mai apare ca lumină, ci ca microunde (unde radio cu lungimea de undă de câțiva centimetri).

Radioactivitate: Ruperea spontană a nucleului atomic și trecerea lui într-un alt tip de nucleu.

Raze gama: Raze electromagnetice cu lungimi de undă foarte scurte, produse în dezintegrarea radioactivă sau prin ciocnirile particulelor elementare.

Relativitatea specială: Teoria lui Einstein bazată pe ideea că legile științei trebuie să fie aceleași pentru toți observatorii, oricum s-ar mișca ei în absența fenomenelor gravitaționale.

Relativitatea generală: Teoria lui Einstein bazată pe ideea că legile științei trebuie să fie aceleași pentru toți observatorii, indiferent cum se mișcă ei. Teoria explică forța gravitației în termeni de curbură a spațiului-timp cvadridimensional.

Sarcina electrică: Proprietatea unor particule datorită căreia acestea pot respinge (sau atrage) particulele care au o sarcină de același semn (respectiv, de semn opus).

Secundă (an)-lumină: Distanța parcursă de lumină într-o secundă (an).

Singularitate: Punct în spațiul-timp în care curbura spațiului-timp (sau alte mărimi fizice) devine infinită.

Spațiul-timp: Spațiul cvadridimensional ale cărui puncte sunt evenimente.

Spectru: Frecvențele care compun o undă. Partea vizibilă a spectrului Soarelui poate fi văzută în curcubeu.

Stea neutronică: Stea rece, care este uneori rămășița exploziei unei supernove, atunci când miezul materialului din centrul unei stele colapsează formând o masă densă de neutroni.

Teoria corzilor: Teorie fizică în care particulele sunt descrise ca unde pe corzi. Corzile au numai lungime și nici o altă dimensiune.

Zero absolut: Cea mai joasă temperatură posibilă, la care substanțele nu mai conțin energie termică.

Postfață

Odată cu apariția acestei cărți, cititorul român are la dispoziție patru titluri semnate de unul dintre cei mai mari cosmologi contemporani, Stephen Hawking, toate apărute la Editura Humanitas*. Ca și edițiile originale, sau traducerile lor în alte zeci de limbi, cărțile lui Hawking s-au bucurat în țara noastră de un mare succes, ilustrat prin numeroase reeditări sau retipăriri. Deși mai elaborate și mai accesibile cititorilor de pretutindeni, nici unul dintre titlurile care au urmat *Scurtei istorii a timpului* nu a egalat încă recordul editorial stabilit de această primă carte a lui Stephen Hawking adresată publicului larg, record absolut pentru o carte al cărei subiect este un domeniu de știință.

Cărțile lui Hawking mai dețin însă și altfel de recorduri — de data aceasta, românești — despre care, foarte probabil, autorul britanic nici nu știe: *Universul într-o coajă de nucă* și *O mai scurtă istorie a timpului* au apărut la noi la un interval de timp deosebit de scurt de la lansarea lor în engleză, iar prima dintre ele în condiții grafice cu totul deosebite, care o impun drept candidată firească la titlul de cea mai frumoasă carte științifică apărută la noi în țară.

* Celelalte trei cărți sunt: *Scurtă istorie a timpului*, traducere Michaela Ciodaru; *Visul lui Einstein și alte eseuri*, prefață, traducere și note Gheorghe Stratan, controlul științific al traducerii Mihai Vișinescu; *Universul într-o coajă de nucă*, traducere Gheorghe Stratan, Ovidiu Țînțăreanu și Anca Vișinescu, îngrijirea ediției, Gheorghe Stratan.

Nu ne propunem aici o analiză a cauzelor succesului fenomenal al scrierilor lui Hawking; el ține, așa cum scrie însuși autorul, de o serie de factori, cum ar fi interesul crescând al publicului pentru știință și îndeosebi pentru cosmologie sau existența unor cărți foarte cunoscute și populare din acest domeniu (printre care, renumita lucrare a lui Steven Weinberg*, pe care *Scurta istorie* a detronat-o din poziția de bestseller științific), toate acestea contribuind la trezirea și întreținerea apetitului cititorilor pentru astfel de subiecte. Să adăugăm faptul că publicul este interesat și de viața și activitatea unei personalități ieșite din comun — autorul însuși — luptător de peste patru decenii împotriva unei maladii incurabile, care i-a răpus pe alți bolnavi în numai câțiva ani.

Descoperindu-și în mod senzațional, chiar de la prima carte de popularizare, talentul de scriitor, Hawking a decis să exploateze succesul *Scurtei istorii*, folosind o rețetă împrumutată din cinematografie, aceea a „remake"-ului, în care noi actori joacă într-un film de mare priză în trecut, repetându-i titlul și subiectul și — doar eventual — modificându-i scenariul. Această rețetă nu este însă întru totul respectată aici, deoarece *O mai scurtă istorie a timpului* nu este chiar o simplă reluare a subiectului, ci reprezintă o reexaminare, o restructurare și — într-o măsură pe care o vom discuta în cele ce urmează — o aducere la zi a *Scurtei istorii*.

Cu ea, autorul scontează probabil pe un succes pe măsură, lăsând astfel deschisă seria pentru o eventuală *Ceva mai scurtă...* sau *O și mai scurtă istorie a timpului...* etc., în genul continuărilor la filme mai mult sau mai puțin recente cu încasări mari**. Nu este vorba de o pură speculație, ci de o idee luată în considerare de autor însuși, dar respinsă în primă instanță. În *Visul lui Einstein* (ediția originală, 1993, ediția

* *Primele trei minute*, prefață Ioan Ursu, traducere și postfață Gheorghe Stratan, Ed. Politică, 1985.

** *Rocky I, Rocky II* etc.

I în limba română, 1997, ediția a II-a, 2005), Hawking scria: „Cred că nu voi scrie o urmare la *Scurtă istorie a timpului*. Ce titlu să-i dau? *O istorie mai lungă a timpului*? *Dincolo de sfârșitul timpului*? *Fiul timpului*?" (*op. cit.*, p. 50). După cum se vede, autorul s-a răzgândit și, găsind până la urmă un titlu adecvat, a scris această urmare *„mai scurtă"*.

Mai scurtă, dar, în același timp, mai accesibilă publicului decât scrierea inițială și aceasta atât datorită textului, cât și ilustrațiilor, cele din urmă dovedindu-și eficiența, așa cum am menționat, și în cazul *Universului într-o coajă de nucă*. Cartea de față se dovedește interesantă și provocatoare științific, filozofic și teologic, chiar fără relația ei genetică față de *Scurta istorie*; comentariile traducătorului încearcă aici să pună în lumină doar câteva aspecte legate de domeniile pe care autorul le abordează în ambele lucrări.

Într-o cronică intitulată sugestiv *Stephen Hawking, big bang-ul și Dumnezeu**, un chimist celebru, Henry F. Schaefer III, afirmă de la bun început că domeniul cosmologiei (știință de sinteză, care se ocupă de univers în ansamblu, adică de structura, originea și evoluția acestuia) este bine prezentat în *Scurtă istorie...*, fiind științific și teologic relevant, mai ales prin problemele pe care le ridică**.

Schaefer identifică șase grupuri de întrebări la care orice cosmologie ar trebui să dea un răspuns: „(1) Este universul finit, sau infinit în dimensiune și conținut? (2) Este el etern, sau are un început? (3) A fost el creat? Dacă nu, atunci cum

* „Stephen Hawking, the Big Bang, and God", în *The Real Isue*, nov./dec. 1994. Comentariile lui Schaefer se referă, evident, la *Scurtă istorie a timpului*, dar ele sunt perfect valabile și pentru varianta ei (și) mai scurtă.

** Schaefer îl critică pe Hawking de pe poziția religiei, mai ales pentru o afirmație din carte potrivit căreia, prin demersul său științific, poate întrezări ce a avut Dumnezeu în gând atunci când a creat universul. După Schaefer, Hawking ar da dovadă și de naivitate, și de lipsă de modestie.

a ajuns el aici? Dacă da, atunci cum a fost realizată creația și ce putem afla despre agentul ei și evenimentele care au avut loc? (4) Cine sau ce guvernează legile și constantele fizicii? Sunt aceste legi rezultatul întâmplării, sau au fost plănuite? Care este relația lor cu suportul și dezvoltarea vieții? (5) Se află oare vreo existență cognoscibilă dincolo de dimensiunile cunoscute ale universului? (6) Universul se extinde ireversibil, sau își va inversa (cândva) mișcarea?"

Evident, nu toate aceste întrebări pot găsi răspunsuri imediate de la Hawking ca om de știință, nici de la știința însăși. Întrebarea (5), de pildă, are un caracter pur metafizic; tot evident, acest fapt nu-i diminuează cu nimic nici importanța, nici legitimitatea. Eventualitatea ca această problemă să afle un răspuns cu mijloace științifice de investigație stă sub semnul îndoielii. Din acest punct de vedere, Hawking este categoric: dincolo de limitele spațio-temporale ale universului, nu există relații de tip cauză–efect care să se poată stabili cu evenimentele din universul nostru și, ca atare, principiul economiei de mijloace elimină din domeniul științei preocupările privind „lumea de dincolo".

Întrebarea (2) ține însă și de știință, iar (1) este pur științifică. În scenariul standard descris de autorul britanic, universul are un început în timp, acel big bang — marea explozie — de acum 13–14 miliarde de ani, singularitatea care a generat în timp toate formele lumii în care trăim. Vom vedea imediat că tocmai aici se întrevăd astăzi schimbări de fond în modul în care știința vede evoluția universului, mențiune valabilă și pentru întrebarea (6). Răspunsul la celelalte întrebări ale lui Schaefer necesită însă implicarea filozofiei și metafizicii (teologiei).

Până la sfârșitul secolului trecut, problematica genezei și evoluției universului văzută dinspre partea științei a fost dominată de scenariul standard, care, în cele câteva decenii ale existenței sale, a suferit câteva „ajustări", efectuate fie din rațiuni de coerență internă a modelului, fie — și mai ales — din

necesitatea adaptării sale la datele de observație acumulate între timp. Printre cele din urmă se numără măsurarea foarte precisă a fondului cosmic de microunde, care păstrează informații rămase din acel moment al istoriei standard cunoscut sub numele de „separarea dintre materie și radiație", după care a început o etapă când aceste două componente ale universului au evoluat separat (și neinteractiv). În această etapă ne aflăm și astăzi. Radiația a rămas cu structura pe care a avut-o în momentul separării sale de materie, în schimb, materia a suferit de-a lungul timpului transformări provocate mai ales în urma acțiunii locale a gravitației care au dus la forma actuală a universului. Găsim, prin urmare, în radiația de azi, o „fotografie" a materiei luată la momentul separării celor două componente, imagine pe care o putem compara cu materia în situația ei actuală.

Cosmologii știu că raportul dintre omogenitatea și izotropia la scară mare a universului actual și neomogenitatea și anizotropia lui la o scară mai mică (manifestată prin apariția de galaxii, roiuri de galaxii etc.) trebuie să fie reflectată, așa cum am văzut, în mic, în structura actuală a radiației de microunde (vezi Capitolul 7), determinată experimental ca fiind și ea omogenă și izotropă la scară mare, dar neomogenă și anizotropă la nivel „microscopic". S-a ajuns la concluzia că, exceptând micile fluctuații (și anume, acelea de la care pornind a fost generată în timp structura diferențiată a universului actual), starea inițială a universului a fost remarcabil de omogenă și de izotropă, ceea ce ar presupune un univers inițial extrem de restrâns ca dimensiuni, altfel, diversele sale părți nu ar fi putut avea condiții aproape identice la start. Pentru ca, pornind de la o astfel de stare „zero", universul să ajungă la starea actuală, a trebuit ca el să treacă printr-o perioadă de dilatare gigantică, singura capabilă să amplifice neuniformitățile microscopice de atunci până la neuniformitățile astronomice actuale.

„Universul inflaționar"*, cum a fost numit acest model menit să completeze scenariul big bang inițial, implică existența și manifestarea la un moment dat a unei forțe uriașe de respingere, răspunzătoare chiar de însăși marea explozie. Oricât ar părea de paradoxal, modelul big bang standard nu descrie big bang-ul însuși, ci doar evoluția materiei dense și fierbinți *post hoc*. „Inflația" ar constitui deci tocmai fragmentul care lipsește din partea inițială a scenariului big bang. Forța care a determinat comportarea inflaționară a universului ar fi fost tot gravitația care, în acele condiții, s-a manifestat repulsiv, creând o așa-zisă „presiune negativă".

Într-un alt context din istoria științei, Einstein a intuit existența unei astfel de faze repulsive a gravitației, dar el a folosit-o *ad hoc* pentru a „opri" expansiunea (sau colapsul) universului care rezultau din ecuațiile sale în prima lor variantă. Autorul teoriei generale a relativității era convins că universul este staționar și a acționat conform acestei concepții**. Totul s-a petrecut însă înainte de descoperirea experimentală a fenomenului de expansiune a universului de către Hubble, astfel încât, prin intervenția sa în propriile rezultate, Einstein a ratat prezicerea acestui fenomen. Episodul este descris de Hawking în Capitolul 7, fiind cunoscut sub numele de „cea mai mare greșeală a lui Einstein". Marele savant a regretat-o amarnic și iată, întâmplarea de atunci are urmări neprevăzute în complet altă conjunctură din istoria cunoașterii universului timpuriu.

---

* Am ales acest englezism pentru a marca o deosebire între termenul fizic și „inflaționist", care desemnează o noțiune din domeniul financiar.

** Și Newton a fost confruntat cu o situație similară. „Legea atracției universale" implică, așa cum îi spune și numele, atracția tuturor particulelor de materie, ceea ce ar face universul instabil, deoarece el ar tinde să colapseze către un centru. Cum la observațiile zilnice universul pare stabil, Newton a explicat absența colapsului considerând universul infinit, deci lipsit de vreun centru către care să colapseze.

Dar nu numai trecutul universului, ci și viitorul lui ne rezervă surprize. Un element de noutate absolută din cosmologie apărut în intervalul de timp dintre cele două *istorii ale timpului* este descoperirea faptului că expansiunea universului se accelerează. Fenomenul nu se încadrează în nici una dintre variantele de evoluție ale universului propuse de teoriile prezente, toate aceste modele cosmologice prezicând o încetinire a expansiunii, provocată de atracția gravitațională. Cauza expansiunii accelerate pare să fie din nou manifestarea caracterului repulsiv al gravitației; s-ar repeta astfel împrejurarea similară din trecutul universului. Din păcate, *O mai scurtă istorie* nu analizează decât sumar consecințele fenomenului expansiunii accelerate. De altfel, în cartea lui Hawking, tot subiectul accelerării expansiunii ocupă un loc prea restrâns față de importanța principială a fenomenului.

Claustrofobii pot, în sfârșit, răsufla ușurați: universul pare să fie deschis și, prin urmare, nu va colapsa niciodată, ci se va extinde pentru totdeauna. Așa arată tabloul descris în cartea de față... După cum vom vedea imediat, și celelalte modele cosmologice indică un univers „expansionist".

O altă noutate cosmologică, extrem de importantă, de această dată de natură teoretică, a fost însă complet omisă de Hawking. Este vorba despre teoria universului ciclic, aflată acum încă într-o fază în care stârnește discuții aprinse. Noua teorie contrazice fundamental ideea scenariului standard potrivit căreia universul s-ar fi născut în urma unui prim — și unic — big bang (cel actual). De altfel, din punct de vedere filozofic, era greu de acceptat o asemenea idee; nu se putea evita întrebarea firească de ce am fi după *primul* big bang? Răspunsul scenariului standard la această întrebare este că, dacă în trecut ar fi existat alte big bang-uri, urmate de contracții periodice ale universului, aceste evenimente ar fi trebuit să lase urme detectabile, ceea ce nu este cazul. Apoi, în decursul expansiunii, energia fiind disipată printr-un proces ireversibil, o parte din ea se pierde, iar dezordinea (entropia) crește. La fiecare repetare a ciclului big bang–big crunch (marea prăbușire), energia totală ar scădea, iar big bang-urile succesive ar trebui să fie din ce în ce mai puțin „big", până la a constitui doar „scurte" pulsații, fără suficient timp între ele ca să permită apariția structurilor complexe constatate de noi în univers. Este drept însă că, în literatura de specialitate, această argumentare „anticiclică" nu a fost dusă până la capăt (sau cel puțin nu în lucrările accesibile traducătorului).

În logica *Mai scurtei istorii*, faptul că acum ne-am afla în faza de expansiune a universului care urmează primului (și unicului!) big bang joacă un rol esențial, deoarece din acest act de creație au rezultat spațiul și timpul. În modelul standard, timpul are deci un început, înaintea căruia nu a existat nimic — sau cel puțin nimic detectabil prin metodele științei —, deși Hawking n-ar admite această ultimă nuanțare.

În noua teorie, universul are o evoluție ciclică, alcătuită dintr-o succesiune infinită de explozii, urmate fiecare de o nouă expansiune, fără să existe vreo fază intermediară de contracție. Universul ar primi periodic „bice" — infuzii de energie care i-ar mări din nou temperatura, dar nu atât de mult ca în big bang-ul din scenariul standard. „Singularitatea", atât de des invocată de Hawking într-*O mai scurtă istorie* pentru momentul inițial al big bang-ului standard, nu s-ar produce niciodată în noul model. Ca urmare, legile naturii ar rămâne totdeauna valabile, inclusiv la momentul exploziilor periodice. Acest fapt are o mare importanță, atât pentru știință, cât și pentru filozofie*.

Conform teoriei universului ciclic, noi ne-am afla actualmente într-o fază de expansiune accelerată, la circa cincisprezece miliarde de ani de la „bang-ul" care a generat universul

* Nu este nevoie, desigur, să-i mai menționăm relevanța pentru teologie. Cosmologia științifică este în dialog, iar uneori în conflict cu *Facerea*, iar începutul acestuia poate fi considerat că datează de la *Dialogul* lui Galilei (1632).

în care trăim, un bang oarecare dintr-o serie infinită. (Atenți și la nuanțele de limbaj, autorii din domeniu scriu doar „bang", fără „big"). Expansiunea va continua încă un interval imens de timp (de ordinul trilioanelor de ani), după care universul mai primește o „lovitură de bici". Degajarea periodică de energie (numită și „energie neagră", sau chintesență*) provine din ciocnirile succesive ale unor formațiuni multidimensionale numite brane (definite în alt context de Hawking în Capitolul 11). Modelul de brane care se ciocnesc înlătură necesitatea fazei inflaționare din modelul standard „introdusă cu mâna", ca să explice uniformitatea condițiilor inițiale. În noua schemă, instaurarea uniformității pe scară largă este provocată de apropierea dintre brane și are loc de fiecare dată înaintea bang-ului respectiv. Modelul ciclic explică totodată în mod firesc alte câteva ingrediente ale modelului standard și ele introduse forțat acolo. Cu corectivele descrise mai sus, modelul standard este înglobat în modelul ciclic, având ca „interval de valabilitate" perioada de expansiune dintre două bang-uri, iar ca „domeniu de competență", explicarea structurilor actuale ale universului — în linii generale — mergând pe vechea schemă.

Viitorul universului nostru ar fi deci o foarte îndelungată expansiune (accelerată), cu toate urmările inerente unui asemenea fenomen global: răcirea lui treptată, epuizarea surselor sale cosmice de energie (inclusiv „stingerea" stelelor), întunecarea cerului, destrămarea galaxiilor etc. Apocalipsei de tip „cool", provocată de expansiune, i-ar urma apocalipsa „hot", administrată de ciocnirea branelor și totul ar reîncepe. Evident, fără noi și fără vreun fel de „reminiscență", din ciclurile anterioare, cele două evenimente spălând orice structură preexistentă. Acum, la circa 15 miliarde de ani de la cel mai recent bang, vârsta universului nostru este încă „fragedă", dar pe măsură ce se dilată (accelerat) universul-prunc de astăzi își pierde energia.

* Denumire inspirată de termenul aristotelic pentru elementul din care erau alcătuite cerurile (al cincilea, primele patru — pământul, apa, aerul, focul — fiind rezervate lumii sublunare).

Care sunt șansele de supraviețuire ale civilizației umane, sau ale altor eventuale civilizații, în condițiile universului în răcire? Acest subiect a fost dezbătut de Freeman Dyson într-un articol intitulat sugestiv *Timpul fără sfârșit: fizica și biologia într-un univers deschis**. Universul ciclic este deschis, dar este supus periodic bang-ului. Dacă ne limităm la faza de extindere din perioada cuprinsă între două bang-uri, putem folosi parțial scenariul lui Dyson, scris pentru modelul standard într-o perioadă în care nu se știa dacă universul se va extinde la nesfârșit sau dacă, după un timp, va colapsa. Dyson a ales să analizeze varianta expansiunii veșnice deoarece, după cum scrie, are claustrofobie și, totodată, nu crede că Dumnezeu a făcut lumea pentru ca, în final, să o distrugă în focul colapsului. Pentru o reputată revistă de știință ca *Review of Modern Physics***, acceptarea unui astfel de argument teologic a fost o noutate care nu s-a mai repetat între timp, deoarece așa se amestecă fizica și metafizica și, totodată, faptele cu valorile — procedeu nestandard, respins ca atare de comunitatea științifică. Lăsând deoparte preferințele lui Dyson pentru o variantă sau alta de univers***, partea pur științifică a articolului său prezintă un tablou care ar trebui să fie încurajator pentru perspectivele de dezvoltare îndelungată a civilizațiilor, chiar pe fondul scăderii treptate

* Freeman Dyson, „Time without end: Physics and Biology in an open Universe", *Review of Modern Physics*, vol. 51 (1979), p. 477.

** Care publică in extenso și în premieră lecțiile de specialitate ale laureaților Premiului Nobel pentru fizică.

*** Poziția lui Dyson de a apela la valori (în sens etic și religios), în cadrul unora dintre lucrările sale științifice, i-a adus aprecierea Fundației Templeton, care i-a acordat prestigiosul premiu cu același nume — echivalent în domeniul științei și religiei cu Premiul Nobel.

a surselor cosmice de energie. Un procedeu de supraviețuire este... hibernarea întreruptă de treziri periodice la activitate. Nu pare totuși ceva prea atrăgător.

Interesul publicului pentru cosmologie dezvăluie o latură specială a caracterului omenesc: un anumit altruism, care ne face pe toți să ne preocupăm de soarta urmașilor noștri foarte îndepărtați. Suntem conștienți că universul nostru va avea un sfârșit inevitabil, dar îl preferăm cât mai îndepărtat, mai bine peste câteva trilioane de ani, decât peste câteva miliarde... Apoi, găsim alinare în ideea că universul își va continua existența și după ce va fi trecut prin focul purificator* din care renaște ca pasărea Phoenix, fiind gata, în principiu, pentru un nou început.

Ce credit putem acorda noii teorii? În *Primele trei minute*, Weinberg își pune o întrebare asemănătoare în legătură cu teoria cosmologică standard. Referindu-se la istoria acestei teorii, fizicianul american observă că riscul cel mai mare nu este acela de a lua teoria în serios, ci de a nu o lua în serios destul. Această eroare strategică a întârziat mult dezvoltarea și reformarea teoriei standard.

Credibilitatea teoriei universului ciclic este legată de principalul ei promotor, Paul J. Steinhard, profesor Albert Einstein de științe la prestigioasa Universitate Princeton, ultimul loc unde a lucrat cel de la care s-a dat numele acestui titlu profesoral, marele creator al teoriei relativității. Steinhard are o activitate științifică prodigioasă, extinsă la mai multe domenii ale fizicii; în plus, el a fost implicat activ în reformarea modelului cosmologic standard prin dezvoltarea modelului inflaționar și prin înglobarea inflației în scenariul standard. Chiar dacă noua teorie a universului ciclic va mai

* Modelul ciclic al universului mai poartă și numele de univers ekpyrotic, termen preluat din limba greacă însemnând „din foc".

suferi ajustări, ea se profilează ca un cadru esențial care explică nașterea și renașterea periodică a universului.

După toate acestea, putem înțelege și tăcerea lui Hawking. Traducătorul este sigur însă că autorul *Mai scurtei istorii a timpului* va riposta. Totul este, nu-i așa?, o problemă de timp.

GHEORGHE STRATAN
Februarie 2007

Cuprins

Mulțumiri 5

Cuvânt înainte 7

1. Gândind despre univers 9
2. Imaginea noastră evolutivă despre univers 12
3. Natura teoriilor științifice 19
4. Universul lui Newton 25
5. Relativitatea 33
6. Spațiul curb 46
7. Universul în expansiune 58
8. Big bang-ul, găurile negre și evoluția universului .. 77
9. Gravitația cuantică 96
10. Găurile de vierme și călătoria în timp 117
11. Forțele naturii și unificarea fizicii 131
12. Concluzie 154

Albert Einstein 160

Galileo Galilei 163

Isaac Newton 166

Glosar 168

Postfață de GHEORGHE STRATAN 174

Redactor
VLAD ZOGRAFI

Tehnoredactor
LUMINIȚA SIMIONESCU

DTP
ANGELA ARDELEANU

Corector
MARIA NICOLAU

Apărut 2007
BUCUREȘTI–ROMÂNIA

Lucrare executată la „ACCENT PRINT" — Suceava

„Nu mă aşteptam ca *Scurtă istorie a timpului* să aibă atâta succes — avea să mărturisească Hawking. Ea a rămas timp de peste patru ani pe lista celor mai bine vândute cărţi din *Sunday Times*, adică mai mult decât a rezistat acolo orice altă carte, fapt remarcabil pentru o lucrare ştiinţifică destul de dificilă." Între timp, s-au vândut peste 10 milioane de exemplare. Notorietatea cărţii se explică atât prin problemele pe care le atacă (naşterea universului, natura timpului şi spaţiului), cât şi prin stilul direct şi simplu care te face să ajungi la punctele-cheie ale dezbaterilor actuale. Deşi editorul îl sfătuise să nu introducă formule, fiecare formulă înjumătăţind numărul cititorilor potenţiali, Hawking şi-a asumat riscul şi a inserat celebra relaţie a lui Einstein între energie şi masă $E = mc^2$. În rest, totul e explicat doar prin cuvinte.

În prefaţa la *Universul într-o coajă de nucă*, Stephen Hawking mărturiseşte că a rezistat tentaţiei (şi presiunii din partea cititorilor) de a scrie o continuare la *Scurta istorie a timpului*, fiind prins în cercetările sale ştiinţifice. Câţiva ani mai târziu a revenit însă asupra hotărârii, publicând *O mai scurtă istorie a timpului*. Două au fost motivele care l-au determinat să reia tema: dorinţa de a scrie o carte încă şi mai accesibilă publicului larg şi nevoia de a include progresele înregistrate în cosmologie şi fizica fundamentală în cei aproape douăzeci de ani scurşi de la prima ediţie a *Scurtei istorii a timpului* — progrese care în mare parte i se datorează lui Hawking însuşi.

Alte cărţi de ştiinţă la Humanitas:

Stephen Hawking
Universul într-o coajă de nucă

Stephen Hawking
Visul lui Einstein şi alte eseuri

Richard P. Feynman
Şase lecţii uşoare

George Gamow, Russell Stannard
Minunata lume a domnului Tompkins

Steven Weinberg
Descoperirea particulelor subatomice

05903
35.00

Design copertă
© *MoonRunner Design*
şi *The Book Laboratory® Inc.*

ISBN 978-973-50-1635-7